

Zoeken naar een indicator voor mobiel N in de bodem

Zoeken naar een indicator voor mobiel N in de bodem

Ondertitel

**Annemieke Smit¹
Simone Radersma²
Susan van 't Riet³
Mirjam Hack-ten Broeke¹
Sjaak Conijn⁴**

¹Alterra

²PPO-AGV

³PPO-Lisse:

⁴Plant Research International

Alterra-rapport 892

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Smit, A.; Radersma, S.; Riet, S. van 't; Hack-ten Broeke, M.; Conijn, S, 2004. *Zoeken naar een indicator voor mobil N in de bodem*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 892. 56 blz. 18 fig.; 2 tab.; 15 ref.

De nitraatconcentraties in het grondwater zijn op veel plaatsen in Nederland te hoog. Verandering in bemestingsbeleid zullen naar verwachting effect hebben op nitraatuitspoeling naar grondwater en oppervlaktewater. Monitoren van nitraatconcentraties in het grondwater is echter zeer arbeidsintensief. Daarom is gezocht naar een bodemparameter, die reageert op veranderingen in bemesting en daarom als indicator voor verandering in nitraatuitspoeling kan dienen. Bodemonsters zijn genomen in langjarige bemestingsproeven en diverse bodemparameters zijn gemeten en vergeleken. Geen van de parameters gaf een duidelijke reactie op bemesting. De nitraatconcentratie in het grondwater reageerde wel. Dit lijkt de beste indicator voor uitspoeling te zijn.

Trefwoorden: Stikstof, nitraat, bodem, uitspoeling, mineralisatie, indicator, grondwater

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €22,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 892. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Werkwijze	12
2 Verkenning van lopende nitraatprojecten en gangbare meettechnieken	13
2.1 Overzicht van lopende projecten	13
2.2 Gangbare meetmethoden in “nitraatprojecten”	13
3 Kandidaat-indicatoren en meetmethoden	15
3.1 Organische stof en organische N	15
3.2 Opgelost mineraal N (Nmin) en organisch N (DON)	15
3.3 N-mineralisatie	17
3.3.1 Incubatie-methode	17
3.3.2 Oplosbaar N (SON) in extracties en Hot-KCl	18
3.3.3 Fysische fractionering	18
3.3.4 N-leverend vermogen	18
3.4 Een keuze uit de kandidaat-indicatoren	19
4 Mobiel N in grond- en oppervlaktewater	21
5 Veldmetingen en analyses	23
6 Resultaten	27
6.1 Relatie bodemparameters met bemesting	27
6.2 Indicator voor potentiële mineralisatie	29
6.3 Relatie tussen bemesting en nitraat in het grondwater	31
7 Conclusie	35
Literatuur	37
Bijlagen	
1 Uitgangspunten	39
2 Verslag van literatuuronderzoek naar het voorkomen van verschillende vormen van N en het belang voor uitspoeling.	41
3 Resultaten uit lopend onderzoek m.b.t. verschillende vormen van mobiel stikstof	47
4 Verkenning van lopend N-onderzoek	49
5 Verslag van een workshop met experts	55

Woord vooraf

In het kader van programma 398-III, thema 2 (Ontwikkeling van nieuwe landbouw- en milieu-indicatoren en monitoringssystemen) is het project "Indicator mobiel N" uitgevoerd. Gedurende de loop van het project is een projectdocument bijgehouden, waarin alle, ook de slechte en afgewezen ideeën, zijn opgenomen. Het project heeft een database opgeleverd en er zal binnenkort een wetenschappelijk artikel opleveren. Op 3 oktober 2003 zijn de resultaten en conclusies gepresenteerd op een bijeenkomst in het kader van het thema over indicatoren.

Het projectdocument hebben we omgevormd tot dit rapport. Het bevat de rapportage van de verschillende stappen, die in dit project zijn gezet. Een uitgebreide lijst van kandidaat indicatoren voor mobiel N, die voor een deel als ongeschikt zijn aangemerkt, een beschrijving van de veldmetingen, aangevuld met verwijzingen naar projecten waarbij we ons hebben aangesloten en de resultaten van de veldmetingen. De bijlagen bevatten informatie over aspecten, die verder zijn uitgediept: De uitgangspunten bij het vaststellen van de N-balans, een quick-scan van lopende en recent afgeronde nitraatprojecten, een verslag van een workshop met N-experts en een literatuurstudie naar het belang van DON.

Wageningen, december 2003

Samenvatting

Op zoek naar een indicator voor mobiel N in de bodem

De mest- en mineralenprogramma's hebben onder mee ten doel om geschikte indicatoren vast te stellen voor de emissies van N en P vanuit de landbouw. Het project N-indicator is één van de projecten die daartoe worden uitgevoerd. Dit project heeft ten doel om een milieu-indicator te ontwikkelen, die in de bovengrond de effecten van mestbeleid op mobiel stikstof kan kwantificeren. Daarbij wordt mobiel N gedefinieerd als de stikstof die potentieel binnen een jaar naar grond- of oppervlaktewater kan uitspoelen en bevat dus zowel minerale (NO_3^- & NH_4^+) als gemakkelijk oplosbare organische verbindingen (dissolved organic N: DON & soluble organic N: SON). De indicator moet toepasbaar zijn op perceelsniveau en moet in principe landsdekkend zijn. Voor verschillende bodemtypen en teelten mag de indicator wel een ander accent krijgen.

Tijdens een workshop met experts zijn de mogelijkheden voor het vinden van zo'n indicator besproken. In samenspraak met experts werd als meest voor de hand liggende kandidaat-indicator voor mobiel N de totale hoeveelheid oplosbare N (organisch en mineraal) in het najaar aanwezig in de bodem, met daarbij opgeteld de hoeveelheid oplosbare N die in 6 weken incubatie vrijkomt. Deze combinatie van mobiele N-componenten wordt $N_{\text{incubatie}}$ (N_{inc}). De hoeveelheid oplosbaar N (N_{min} + SON) ten tijde van bemonstering, is een maat voor de actuele hoeveelheid uitspoelbaar N (N_{act}). N_{inc} is niet zo variabel in de tijd als een meting waarbij alleen de actuele hoeveelheid mineraal N wordt bepaald in de bodem, maar wel gevoeliger voor veranderingen dan de grote hoeveelheid totaal N of C in de bodem.

Veldmetingen

Er werden in november 2002 bodemmonsters genomen op 7 verschillende proefbedrijven, met verschillende grondsoorten en grondgebruik. Op deze bedrijven liepen langjarige proeven met verschillend management. De hierboven genoemde kandidaat-indicator en eventueel andere mogelijke indicatoren zijn gemeten en er is onderzocht of er een relatie was met 1) beheer of bemestingsniveau; 2) eenvoudig meetbare bodemparameters en; 3) nitraatconcentratie in het grondwater.

De bodemmonsters zijn geanalyseerd op totaal N, totaal C, extraheerbaar (in 0.01 M CaCl_2) mineraal en organische N direct na bemonstering en na 6 en 12 weken incubatie bij 20°C en de hoeveelheid extraheerbaar NH_4 in een hot-KCl extractie werd bepaald.

Resultaten

De gemeten bodemparameters bleken echter geen relatie te hebben met een verschil in bemestingsniveau binnen een bedrijf. De relatie tussen N_{inc} en bemesting voornamelijk wordt verklaard door grondsoort en grondgebruik. Verrassend was de hoge correlatie tussen N_{inc} en opgelost organisch N ($R^2=0,75$), opgelost organisch C

($R^2=0,74$) en N_{act} ($R^2=0,62$). Hier blijkt dat vooral meetlaag (0-30 of 30-60) en grondgebruik (grasland of bouwland) duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn. Nadere analyse van alleen de bouwlandgegevens voor de laag 0-30 cm, levert een duidelijk onderscheid op tussen klei en zand.

Relatie met grondwater

De relatie van bodemparameters en het NO_3^- gehalte in het grondwater blijkt niet goed te zijn. De nitraatconcentratie kan grote variatie vertonen bij dezelfde N_{inc} . Toch heeft bemesting wel degelijk effect op de kwaliteit van het grondwater. Hoewel de standaard deviaties soms erg groot zijn, is duidelijk een trend te zien. De “hoge” N niveau’s geven bij alle bedrijven een hogere nitraatconcentratie dan de “lage” N bemestingsniveaus.

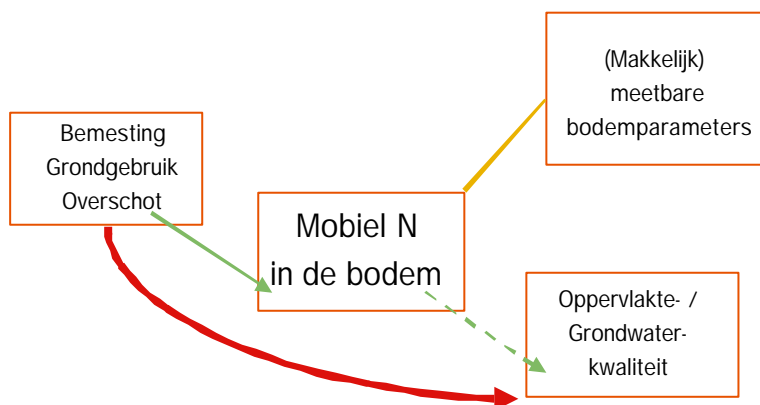
De N-indicator gevonden?

De naar verwachting meest geschikte kandidaat-indicator, N_{inc} blijkt binnen een bedrijf niet gevoelig te zijn voor verschillen in management, zelfs niet als dit beheer al 7 jaar wordt toegepast. Ook andere gemeten bodemparameters bieden geen soelaas. De nitraatconcentraties in het grondwater vertonen echter wel een trend die overeenstemt met het bemestingsniveau. Het lijkt er dus op dat een meetbare verandering in het grondwater vooraf gaat aan de verwachte verandering in de bodem en niet andersom.

1 Inleiding

Het project “Indicator stikstof” is onderdeel van thema II van programma 398-III (Toetsing, monitoring en evaluatie van het Mest- en Mineralenbeleid). Binnen thema II worden nieuwe methodieken ontwikkeld waarmee landbouwkundige en milieukundige gevolgen van maatregelen snel inzichtelijk kunnen worden gemaakt. De doelstelling van dit thema II is de ontwikkeling, toetsing en het opstellen van protocollen voor het monitoren van nieuwe landbouw- en milieukundige indicatoren, zoals perceeloverschotten en mobiel fosfaat en stikstof in de bodem, om de effecten van het mestbeleid op perceelsniveau te kwantificeren.

Het doel van dit project is het ontwikkelen van een milieu-indicator om de effecten van het mestbeleid op perceelsniveau te kwantificeren ten aanzien van mobiel stikstof in de bodem. Met mobiel stikstof wordt alle stikstof, die potentieel binnen een jaar naar grond- of oppervlaktewater kan uitspoelen bedoeld. Dit betreft zowel minerale (NO_3^- & NH_4^+) als organische verbindingen (dissolved organic N & soluble organic N). Onder mestbeleid wordt hier verstaan de van overheidswege opgelegde vermindering van bemesting met N en P. Hierbij ging het voorheen niet zozeer om een maximale toevoer maar om een maximale hoeveelheid die verloren mag gaan, de verliesnorm. Sinds de uitspraak van het Europese hof op 2 oktober 2003 speelt de aanvoer van N een belangrijker rol.



Figuur 1.1. Schematische weergave van de relatie tussen bedrijf en grond- en oppervlaktewater zoals die binnen dit project wordt aangehouden. De doorgetrokken groene pijl geeft de te onderzoeken relatie aan waarmee de rode pijl verklaard zou moeten worden. De gestippelde groene pijl geeft een veronderstelde relatie weer

De indicator moet opgenomen worden in monitoringsprogramma en zo snel mogelijk, maar maximaal binnen een periode van 3-5 jaar, kunnen aangeven of een

verandering in landbouwkundig handelen tot een vermindering van mobiel N in de bodem zal leiden. Hierbij wordt verondersteld dat een vermindering van mobiel N in de bodem indirect een maat voor verbetering van de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit is. De indicator zou idealiter moeten gelden voor het gehele land, maar voor verschillende bodemtypen en teelten mag de indicator wel een ander accent krijgen. Het is immers niet voor te stellen dat in alle regio's met verschillende bodemtypen en waterstromen de bodemprocessen precies gelijk zijn. Er hoeft dus niet naar 1 overkoepelende en overal geldende indicator te worden gezocht.

Binnen dit project wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van andere monitoringsprojecten, zoals Sturen op Nitraat en DOVE-klei, en meetnetten zoals dat van het RIVM (LMM, LMB) en de oppervlaktewater-monitoringsprogramma's van waterschappen.

1.1 Werkwijze

In eerste instantie is er een quickscan uitgevoerd naar de mogelijke methodieken om stikstof in de bodem en de mobiliteit naar grond- en oppervlaktewater te kwantificeren. Deze verkenning leverde tevens een overzicht op van variabelen die als indicator voor de mobiliteit van N gebruikt kunnen worden (kandidaat-indicatoren).

Door middel van literatuuronderzoek is vervolgens verder gezocht naar de bruikbaarheid van de diverse kandidaat-indicatoren. In een workshop zijn alle uitkomsten voorgelegd aan een groep experts om tot een snelle en goed onderbouwde keuze van mogelijke indicatoren te komen.

Deze mogelijke indicatoren zijn onderzocht aan de hand van veldmetingen op diverse proefboerderijen in het land.

In hoofdstuk 2 wordt een kort overzicht gegeven lopende of al afgeronde projecten. Bij een deel van deze projecten hebben wij ons aangesloten voor de veldmetingen en achterliggende informatie. Meer achterliggende informatie staat in bijlage 4. Hoofdstuk 3 geeft vervolgens een overzicht van de geselecteerde kandidaat-indicatoren waarbij in de bijbehorende bijlage (bijlage 5) tevens een verslag wordt gegeven van een gehouden workshop met experts. Hoofdstuk 4 gaat kort in op het grond- en oppervlaktewater en in hoofdstuk 5 wordt een beschrijving gegeven van de veldmetingen die zijn uitgevoerd.

Tenslotte beschrijft hoofdstuk 6 de resultaten waarvan in hoofdstuk 7 een korte conclusie wordt gegeven.

2 Verkenning van lopende nitraatprojecten en gangbare meettechnieken

2.1 Overzicht van lopende projecten

In het kader van dit project is een verkenning uitgevoerd naar lopende projecten, die op stikstofuitspoeling gericht zijn. Behalve de “nitraatprojecten” lopen er binnen Alterra en overige DLO-instituten meer projecten, die zich op N-balansen richten. Deze projecten zijn ook in de verkenning meegenomen, omdat er ook bij deze projecten mogelijkheden tot aansluiting bestaan. Tenslotte zijn er ook enkele externe projecten gevonden. In onderstaand overzicht worden de projecten slechts genoemd. In bijlage 4 wordt van ieder project een korte beschrijving gegeven.

Sturen op Nitraat (STOPNIT)

Telen met toekomst

DOVE – projecten

De Marke

Koeien en Kansen

Lovinkhoeve

Verliesnormen grasland

Scheuren van grasland

Diverse projecten bij PPO-bollen en PPO-agv

Metingen van denitrificatie, mineralisatie en nitraatuitspoeling

Monitoren van nutriëntenstromen op stroomgebiedsniveau

Peilstok in de Akker

Meetnetten Grondwater en Bodemkwaliteit (LMM en LMB)

2.2 Gangbare meetmethoden in “nitraatprojecten”

De uitspoeling van nitraat naar het grondwater en eventueel zelfs naar het oppervlaktewater kan niet direct als flux gemeten worden. Het is wel mogelijk om een combinatie van metingen te gebruiken en vervolgens door middel van modelberekeningen de uitspoeling te kwantificeren. De meest gebruikte methoden zijn regelmatige N-mineraal-metingen in diverse bodemlagen (0-30, 30-60 en soms ook 60-90 cm), nitraatconcentraties in het bovenste grondwater of bodemvocht, al dan niet gecombineerd met hydrologische en bodemfysische metingen, die inzicht geven in de waterstroming door de bodem. Naast deze metingen worden ook wel de totale stikstofvoorraden in de bodem, de potentiële of zelfs actuele mineralisatie en denitrificatie gemeten. De projecten die aan het Bedrijfssysteemonderzoek (BSO) zijn gekoppeld concentreren zich sterk op de bedrijfs- en perceelsbalansen en de overschotten, die op basis daarvan worden berekend. Bij deze projecten wordt een zeer uitgebreid meetprogramma uitgevoerd en daarom beperken ze zich tot één of enkele bedrijven. Het project Sturen op Nitraat heeft een heel andere opzet. Daar wordt meer gekeken naar de relatie tussen overschotten, bodemparameters en nitraat

in het grondwater. De meetfrequentie van dit project ligt lager, maar het aantal meetpunten is veel groter (480), verdeeld over 34 bedrijven

De grootste verschillen tussen de lopende projecten of monitoringsprogramma's bestaan in de meetstrategieën. De schaalniveau's, zowel ruimtelijk als temporeel, lopen erg uiteen. Bijvoorbeeld de meetnetten van het RIVM (Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit, Landelijk meetnet effecten mestbeleid) meten op bedrijfsniveau en slechts eens in de drie tot vijf jaar. Daar tegenover staan projecten zoals Telen met toekomst en de DOVE projecten, die op perceelsniveau waar met grote regelmaat (eens per twee weken of bij iedere 50 mm neerslagoverschot) de grondwaterkwaliteit wordt gemeten.

Andere meettechnieken, meer gericht op mobiel organisch stikstof (DON) of N-leverend vermogen in relatie tot uitspoeling zijn niet gevonden.

3 Kandidaat-indicatoren en meetmethoden

Er is een lijst met kandidaat-indicatoren opgesteld. De indicatoren moeten aan de volgende eisen voldoen

1. Het behoort (op korte termijn) de veranderingen in mestgiftbeleid te weerspiegelen
2. Het moet op eenvoudige wijze te bepalen zijn.
3. Men kan volstaan met een gering aantal – liefst één - metingen per jaar
4. Het vertoont bij voorkeur een goede correlatie met de N-concentratie in grond- en oppervlaktewater.

Op basis van van kennis over de verschillende posten in de N-balans en de daarbij behorende processen is een lijst van kandidaat-indicatoren samengesteld, die aan de hand van de eisen konden worden getoetst. De kandidaat-indicatoren kunnen mogelijk een voorspelling geven van een eventuele verandering in uitspoeling van mobiel N, als gevolg van veranderingen in landbouwkundig handelen. In de lijst komt N_{min} in de bodem voor, die in andere projecten, zoals Sturen op Nitraat, ook al wordt gemeten. Dit kan een zeer goede indicator zijn voor bepaalde combinaties van bodem en landgebruik. Naast de gangbare bodemparameters zijn er vooral kandidaat-indicatoren geselecteerd die aan bodemorganische stof gelieerd zijn.

In een workshop zijn alle kandidaat indicatoren uit de quickscan naar lopende projecten voorgelegd aan een groep experts. Een verslag van deze workshop is te vinden in bijlage 5.

3.1 Organische stof en organische N

De hoeveelheid organische stof zal naar verwachting geen indicator op zich zijn, omdat de veranderingen in de voorraad pas na lange tijd ook meetbaar zijn en daarmee niet aan de eerste eis voldoet. Dit heeft vooral te maken met kleine verschillen, grote variatie in de ruimte en mogelijke onnauwkeurigheden in de metingen. Toch zal organische stof als achtergrondfactor wel worden meegenomen bij de veldmetingen. Het kan zijn dat bepaalde indicatoren gelden bij hoge organisch stofgehalten, maar niet bij bodems die arm zijn aan organische stof, of andersom. Dit geldt ook voor de bepaling van totaal N.

3.2 Opgelost mineraal N (N_{min}) en organisch N (DON)

Stikstof in minerale vorm is deels zeer mobiel (nitraat), en wordt voor een ander deel geadsorbeerd aan de bodem (ammonium). Mineraal stikstof (N_{min}) komt vrij uit organische stof bij afbraak, mineralisatie. Door de hoge mate van mobiliteit van nitraat is N_{min} zeer dynamisch in de tijd. De voorraad N_{min} dat in het najaar aanwezig is in de bodem spoelt veelal gedurende het uitspoelingsseizoen uit. Het is moeilijk om het juiste moment voor een meting te bepalen, omdat dit afhangt van het moment van oogsten, de neerslag en de temperatuur. Hoewel in Sturen op

Nitraat is gebleken dat N_{min} een goede relatie vertoont met de nitraatconcentratie in het grondwater, is het niet vanzelfsprekend dat er een duidelijk verband met bemesting gemeten kan worden.

Naast mineraal N is *DON* een product van afbraak van organische stof. *DON* kan dan een (mede) indicator zijn voor de hoeveelheid mobiel stikstof, die kan of zal uitspoelen. Naar het belang van de verschillende vormen van stikstof is een literatuuronderzoek gedaan (zie bijlage 2). De belangrijkste bevindingen van dit onderzoek zijn:

- Dat nitraat en *DON* allebei de belangrijkste bron van uitspoeling van stikstof kunnen zijn, en dat dit afhangt van vegetatie/gewas, kwaliteit van organisch materiaal (bijv. C:N-ratio) en bemesting (N, kalk). Zodat totale stikstof uitspoeling waarschijnlijk beter benaderd wordt door nitraat + *DON*, dan door een van beiden.
- Dat opgelost organisch N maar een deel is van oplosbaar organisch N, en dat vooral oplosbaar, maar ook opgelost organisch N kunnen adsorberen aan de bodem, afhankelijk van de aard van *DON* en bodem.
- Dat de uitspoeling van *DON* en nitraat fluctueert door het jaar met maxima voor nitraat in de winter en maxima voor *DON* in zomer/herfst, met als gevolg een variabele *DON* : mineraal-N ratio door het jaar heen.

Er worden nogal wat verschillende definities voor *DON* gebruikt. In het vervolg van dit project en dit document zullen de volgende definities worden gebruikt. *DON* is opgeloste organisch N. Dat betekent dat het al in de bodemoplossing of grondwater zit. Water extraheerbaar organisch N (WEON) is de fractie die d.m.v. een waterextract in oplossing komt. De organische fracties, die met een $CaCl_2$ (0,01 M) of een KCl (1M) oplossing worden geëxtraheerd vallen onder dezelfde noemer: oplosbaar (soluble) organisch N (*SON*).

Enkele resultaten van lopend onderzoek, zoals Scheuren van Grasland tonen dat stikstof in organische vorm net zo belangrijk of soms zelfs belangrijker is dan mineraal N (zie bijlage 3). Daarnaast blijkt de hoeveelheid *DON* een sterke relatie te vertonen met potentiële mineralisatie.

Het zoeken naar een indicator voor nitraatuitspoeling binnen STuren OP NITraat heeft het inzicht opgeleverd dat N_{min} in het najaar (N_{min}) de beste indicator is om de nitraatconcentratie in het grondwater in het daaropvolgende voorjaar mee te voorspellen. In ieder geval lijkt N_{min} een betere indicator dan perceels- of bedrijfsoverschot op basis van de analyse van gegevens van drie meetseizoenen.

Uit een verdere verkenning van gegevens uit de Sturen op Nitraat-dataset blijkt dat N-mineraal gemiddeld tot bijna 40% uit ammonium bestaat. In combinatie met de resultaten uit Scheuren van Grasland, ondersteunt dat het idee dat mobiel N meer is dan nitraat. Binnen dit project verdienen organische verbindingen en de processen die hierbij horen dus een veel grotere aandacht. N_{min} + *DON* als indicator zou in systemen met weinig/geen N-fixatie en relatief weinig N-vervluchtiging en denitrificatie de hoofdmoot van de balans (zoals boven aangegeven) dekken.

Het bovenstaande is reden genoeg om de hoeveelheid DON in de bodem en in het grondwater verder te onderzoeken. Daarnaast bieden incubatie-experimenten voor de bepaling van de potentiële N-mineralisatie, waarbij doorgaans alleen mineraal N wordt bestudeerd, een goede mogelijkheid om de dynamiek van deze bodemparameter te meten

3.3 N-mineralisatie

Niet alleen de hoeveelheid oplosbaar N, dat in het najaar aanwezig is in de bodem, kan uitspoelen, ook de hoeveelheid die zal mineraliseren is potentieel uitspoelbaar. De hoeveelheid N dat vrijkomt oor mineralisatie hangt af van zowel de bemesting en landgebruik op lange termijn als van de kortere termijn. Denk hierbij aan het inwerken van gewasresten, die binnen een jaar tot een hogere mineralisatie kunnen leiden. Naar verwachting zou een maat voor de te verwachten N-mineralisatie op "korte" termijn een waardevolle aanvulling zijn.

Er zijn verschillende meettechnieken voor de bepaling of schatting van potentiële mineralisatie. Een algemeen gehanteerde methode is die van incubatie in het veld of in het laboratorium, onder aërobe danwel anaërobe omstandigheden. De incubatiemethode is over het algemeen vrij kostbaar, dus zijn er verschillende alternatieven, die ook een schatting kunnen geven van de potentiële mineralisatie. De actuele mineralisatie is vrijwel niet te meten. Er wordt wel aandacht aan besteed in paragraaf 3.3.1.

3.3.1 Incubatie-methode

Voor de bepaling van potentiële mineralisatie wordt een bepaalde hoeveelheid grond gehomogeniseerd en onder optimale omstandigheden geïncubeerd. Met regelmatige tussenpozen wordt de hoeveelheid N_{min} in het monsters vergeleken met de initiële hoeveelheid. De homogenisatie en de optimale vocht- en temperaturomstandigheden kunnen tot een flinke overschatting leiden, waardoor vertaling naar actuele veldmineralisatie moeilijk te maken is. Er worden ook wel incubatiestudies in het veld uitgevoerd. Hierbij worden er buisjes in de grond geplaatst, die na een periode van 4 tot 6 weken worden uitgegraven voor een N_{min} bepaling. Op het moment van uitgraven worden op een andere plek nieuwe buisjes geplaatst, voor een volgende periode. Deze incubatie wordt wel bij veldtemperatuur uitgevoerd, maar om uitspoeling te voorkomen worden de buisjes meestal afgedekt, waardoor de dynamiek in vochtgehalte toch afwijkt van de veldsituatie. Ook voor dit laatste probleem bestaan wel oplossingen. De buisjes worden in het lab gevuld en zowel aan de onder als aan de bovenzijde komt een zakje met harskorrels. Deze kationen- of anionenwisselaars voorkomen dat er aan de bovenzijde stikstof in de buisjes terecht komt en dat er aan de onderzijde nitraat wegspoelt. Met deze methode hoeven de buisjes niet afgedekt te worden, maar is de bodem wel verstoord. Bij iedere vorm van verstoring bestaat het risico op het dichtsmere van poriën waardoor anaërobe kan ontstaan, wat weer tot denitrificatie kan leiden.

Naarmate de methode een betere benadering van de actuele mineralisatie zal geven, wordt de methode arbeidsintensiever en dus duurder en zal de variatie in ruimte en tijd groter worden. Als maat voor een mogelijke verandering in N-mineralisatie als gevolg van veranderde bemesting of landgebruik kan binnen dit project worden volstaan met een potentiële mineralisatie.

3.3.2 Oplosbaar N (SON) in extracties en Hot-KCl

In het kader van Sturen op Nitraat is er ook een studie gedaan naar indicatoren voor de mineralisatiecapaciteit van de bodem. Naast een laboratoriumincubatie zijn ook de hoeveelheden oplosbaar N en C in een 0,01 M CaCl₂ extract gemeten en 'hot KCl' – extraheerbaar ammonium. De resultaten van de CaCl₂-extracten tonen aan dat er een goede relatie tussen potentiële mineralisatie en de hoeveelheden opgelost N en C bestaat (Velthof, 2001). Velthof stelt voor een indicator af te leiden uit de met CaCl₂-extraheerbare organisch N. Eenzelfde goede relatie tussen mineralisatie en oplosbaar N (in 0,1 M CaCl₂) wordt gevonden door Zwart et al. (1999) voor organische producten zoals gewasresten en compost, die vermengd met zand onder optimale omstandigheden werden geïncubeerd. Deze beide studies zijn op zandgrond uitgevoerd, maar het lijkt de moeite waard om ook op andere bodems deze relatie te toetsen. De resultaten van de Hot-KCl metingen vertonen een minder sterke relatie met de potentiële mineralisatie omdat het er op lijkt dat een deel van de "inerte" organische stof wordt geëxtraheerd. De hot-KClmethode is wel veel robuuster dan de CaCl₂-extractie (Velthof, 2001)

3.3.3 Fysische fractionering

Een andere mogelijke indicator voor de mineralisatie is de hoeveelheid lichte organische stof, zoals deze door Jan Hassink is gehanteerd. Organische stof deeltjes met een laag soortelijk gewicht werden door middel van fysische fractionering geïsoleerd. Volgens Hassink (1995) bestaat er voor grasland een lineair verband tussen de hoeveelheid N in de lichte organische fractie en de potentiële mineralisatie (Hassink 1995). In een rapport van Zwart et al. (1999) wordt deze relatie voor enkele akkerbouwbedrijven op kleigronden ook gevonden, maar niet voor de boomteelt en bollenbedrijven. Navraag bij Hassink leverde een negatief advies op, omdat de lichte fractie een grote variatie in C/N verhoudingen kan vertonen, waardoor de relatie met N-mineralisatie niet overal opgaat.

Een nadeel van de fractionering is ook dat het een behoorlijk arbeidsintensieve methode is, waardoor het moeilijk op grote schaal toe passen valt.

3.3.4 N-leverend vermogen

De mogelijke levering van stikstof is ook al eens gedefinieerd door Ruitenberget al. (1991) in een rapport over het N-leverend vermogen van diverse bodems. Dit N-leverend vermogen werd gebruikt voor het berekenen van de optimale N-bemesting. Hierbij is gebruik gemaakt van een indeling van de grondsoorten in klassen op basis

van het humusgehalte, vochtleverend vermogen en ontwatering. Deze indeling wordt in de praktijk gehanteerd voor het stikstofbestedingsadvies voor grasland. Voor een indicator voor mobiel N is de indeling vooralsnog te grof (voor de zandgronden zijn slechts 3 klassen beschreven, namelijk als N-leveranties van 125, 150 of 200 kg N per ha per jaar).

Voor berekeningen met het consensus-model STONE is een nadere invulling gegeven aan het begrip N-leverend vermogen van de bodem, namelijk als functie van bemestingsvoorgeschiedenis, bodem en gewas (Groenendijk et al., 2001). Dit heeft een set rekenregels opgeleverd. Het verdient aanbeveling om na te gaan of de op deze wijze berekende levering van N gebruikt kan worden als schatter voor mineralisatie.

3.4 Een keuze uit de kandidaat-indicatoren

Uitspoeling van N vindt vooral plaats in het winterhalfjaar. Dan is de vraag wat kan er uitspoelen in die periode. Dat is de hoeveelheid N in oplossing (organisch en anorganisch) aan het begin van de uitspoelperiode (omstreeks begin oktober) vermeerderd met de hoeveelheid die in oplossing gaat van oktober - maart. Dat is de hoeveelheid die mineraliseert gedurende deze periode. De temperaturen zijn 's winters niet optimaal voor mineralisatie, maar het proces zal zeker niet stilliggen.

Het gaat er dus om een goede maat te vinden voor de som van beiden. De eerste hoeveelheid kan gemakkelijk gemeten worden ergens in het najaar. De tweede hangt af van omzetting van humus en gewasresten en een maat hiervoor kan wellicht de netto mineralisatie uit een incubatieproef of zijn of een indicator daarvoor. Het gaat er in de eerste plaats niet om een juiste inschatting te geven van de werkelijk uitspoelbare hoeveelheid N, maar om een indicator die een verandering in de hoeveelheid uitspoelbaar indiceert.

4 Mobiel N in grond- en oppervlaktewater

In het voorgaande hoofdstuk is vooral aandacht besteed aan kandidaat-indicatoren, die in de bovengrond gemeten worden, dat wil zeggen bodemparameters die mogelijk veranderen bij veranderend landbouwkundig handelen en die een trend in uitspoeling kunnen voorspellen. De werkelijke toets in het grond- en oppervlaktewater is daarmee nog niet uitgevoerd.

Voor de relatie van een N-indicator in de bodem met oppervlaktewater geldt dat dit veel moeilijker te bepalen is dan de relatie met grondwater. De kwaliteit van het oppervlaktewater is nooit alleen het resultaat van landbouwkundig handelen op een perceel. In heel veel gevallen zullen meerdere percelen dan wel meerdere bedrijven effect hebben op de concentraties in sloten, beken, kanalen en zo verder. Daarnaast is het niet altijd duidelijk hoelang het duurt voordat een verandering in de bovengrond doorwerkt in uitstromend drainwater. Dit is afhankelijk van de hydrologische situatie.

Er zijn wel enkele methoden bestudeerd, die voor een eventuele monitoring van het oppervlaktewater zouden kunnen worden gebruikt. Een regelmatige chemische analyse van het water ligt voor de hand, maar is arbeidsintensief en kostbaar. Op proefboerderij Droevendaal zijn in de periode 1996-1999 verschillende metingen verricht waaronder grondwater- en drainwaterbemonstering (De Vos en Dijkma, 2000). Nadere analyse wees uit dat vooral het kwelwater van grote invloed was op de nitraatgehalten van het drainwater. Dit is een illustratie van de complexiteit van analyse van metingen in oppervlaktewater. Oppervlaktewater is bovendien veelal afkomstig van meerdere percelen. Dit betekent dat oppervlaktewaterkwaliteit geen bruikbare indicator kan zijn voor het eenduidig bepalen van effecten van maatregelen.

Er zijn ook enkele biologische indicatoren verkend, zoals de kroosbedekking. Dit zou eventueel aan de hand van remote sensing kunnen worden gevolgd. Helaas blijkt kroos wel toe te nemen met een stijgende N-concentratie in het water, maar bij een dalende trend zal de kroosbedekking niet direct evenredig afnemen. Daarnaast spelen ook andere factoren (biologisch: kroosvlindertje of menselijk: baggeren) een rol. Andere, meer dynamische biologische indicatoren, zoals ondergedoken waterplanten, insecten of soortensamenstelling van kiezelwieren, zijn niet de snel te meten parameters waarnaar we op zoek zijn binnen dit project. (Arts, pers. comm.)

In overleg met de programmaleiding is uiteindelijk besloten dat het buiten de omvang van dit project valt om een eigen waterbemonstering uit te voeren. Wel wordt er bij de analyses gebruik gemaakt van bestaande metingen voor zover die genomen zijn op in dit project onderzochte locaties (zie tabel 5.1). Hierbij gaat het alleen om grondwatermonsters.

5 Veldmetingen en analyses

In het najaar (eind oktober – begin november) van 2002 zijn veldmetingen uitgevoerd met als doel een selectie te kunnen maken uit de lijst van kandidaat-indicatoren. Hierbij is op verschillende bodemtypes en bij verschillend landgebruik een vergelijkende studie uitgevoerd op percelen die gedurende 2-7 jaar op een verschillende manier bemest zijn geweest. (zie tabel 5.1) Dit kunnen verschillende hoeveelheden (N-trappen) zijn of een vergelijking tussen kunstmest en organische mest. Het uitgangspunt hierbij was dat een kandidaat-indicator niet voldoet als na enkele jaren van verschillend landgebruik er geen meetbare veranderingen zijn opgetreden. Bij de keuze van bedrijven is zoveel mogelijk aangesloten bij bestaande projecten, met een voorkeur voor proefboerderijen omdat daar in de regel de teelthistorie redelijk goed bekend is.

Tabel 5.1 Onderzochte locaties

grondsoort	grondgebruik	bedrijf	verschil	Grondwaterbemonstering
zand	bouwland	Vredepeel	type en hoeveelheid mest	in 8 permanente buizen
		de Marke	hoge en lage bemesting	Eenmalig in alle percelen
		Lisse	type mest + 0N	nee
klei	bouwland	Cranendonck	hoge en lage bemesting	3 percelen eind 2002
		Heino	hoge en lage bemesting	3 percelen eind 2002
	bouwland	Lovinkhoeve	aanvoer in 3 niveaus + 0N	nee
		Nagele OBS	dierlijk vs kunstmest	drains op 8 perc. '98-'01
veen	gras	Waiboerhoeve	hoge en lage bemesting	3 percelen eind 2002
	gras	Zegveld	hoge en lage bemesting	3 percelen eind 2002

De verschillende locaties, die zijn bemonsterd worden in onderstaande tekst kort besproken. Voor uitgebreide beschrijvingen van de proeven of bedrijven, wordt verwezen naar de projecten is samengewerkt en de daaruit voortgekomen rapportage. Op alle genoemde percelen zijn mengmonsters gemaakt van de lagen 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm, tenzij anders vermeld.

Vredepeel

Sinds 2000 liggen hier de Telen met toekomst percelen, waarvan een deel scherp, maar redelijk aansluitend bij de praktijk worden bemest (synthesepercelen) en waarvan een aantal percelen niet met dierlijke mest en nog scherper worden bemest (analysepercelen). Hier zijn 5 synthese-percelen, de bijbehorende analysepercelen bemonsterd. Het grondwater van deze percelen wordt sinds het najaar van 2001 door Alterra bemonsterd en gemonitord binnen Telen met Toekomst (Smit et al.,2004).

De Marke

Hier ligt sinds 6 jaar een bemestingsproef met telkens 4 herhalingen. De volgende systemen zijn aangelegd: 6 jaar 0 N; 6 jaar 240 N; 3 jaar 0 N gevolgd door 3 jaar 240 N; 3 jaar 240 N gevolgd door 3 jaar 0 N. De bemonstering en analyse van deze percelen is gecombineerd met het project "Mineralisatie metingen" uit het programma 398-II. In het voorjaar van 2003 is hier in alle percelen de nitraatconcentratie in het grondwater bepaald.

Nagele-OBS

Hier is 5 jaar lang dierlijke mest (5 percelen) of kunstmest (5 percelen) toegepast. Helaas zijn in 2002 alle percelen met drijfmest bemest. Er is wel bemonsterd. Als er verschillen worden gemeten zal dat met vijf jaar bemestingsregime te maken hebben. Als er geen verschillen worden gemeten kan dat een effect van de drijfmest zijn of een gebrek aan effect van 5 jaar verschillen in bemesting.

Er zijn hier geen grondwatermonsters genomen, maar er is gebruik gemaakt van drainwateranalyses, die zijn gedaan in februari 1998, november 2000 – februari 2001 en november 2001 – februari 2002 (per comm. A. Dekking, PPO-AGV)

Lovinkhoeve

Op de Lovinkhoeve ligt een meerjarige veldproef met een volledige rotatie en verschillende bemestingstrappen (0-mest, en drie niveau's). Deze liggen er al sinds 1995. In 3 percelen in de rotatie (na 2^e jaar luzerne, na aardappel en na tulp/peen) is op alle bemestingsniveaus bemonsterd. Voor meer informatie over de proef op de Lovinkhoeve, zie het rapport van Jaap Schröder et al. (2003).

Lisse

In de proeftuin in Lisse wordt voornamelijk experimenteel onderzoek uitgevoerd op kleine proefveldjes. Binnen dit project zijn voor 0-bemesting, dierlijke mest en kunstmest ieder 5 veldjes bemonsterd. Als nulveld zijn stukken braakland genomen (2 jaar onbemest). De kunstmestvelden waren in gebruik voor vaste planten onderzoek en op de velden waar dierlijke mest was gebruikt stonden bollen. I.v.m. de hoge grondwaterstand zijn hier slechts de lagen bemonsterd (0-30 en 30-60).

Waiboerhoeve

Voor bedrijven met grasland is aansluiting gezocht bij het project Verliesnormen grasland (programma 398, Middelkoop et al., 2004). Op vier bedrijven (Waiboerhoeve, Zegveld, Cranendonck en Aver Heino), waarvan de Waiboerhoeve zijn trappen proeven met N en P uitgezet. De Waiboerhoeve ligt op kleigrond. Er zijn 3 percelen met een N-overschot van 180 kg/ha en drie percelen met een overschot van 300 kg N/ha. Er wordt met zoveel mogelijk met beweiding gestuurd op de genoemde overschotten. Voor zover met beweiding onvoldoende N en P aan de bodem wordt toegevoegd, wordt dit met kunstmest aangevuld. In het najaar van 2002 is enkele malen de nitraatconcentratie in grondwater gemeten.

Zegveld

Zegveld is een veehouderijbedrijf op veengrond. De proef met verschillende overschotten is gelijk aan die op de Waiboerhoeve. De bodembemonstering kon hier niet worden uitgevoerd voor de laag 60-90, in verband met de hoge grondwaterstand. In Zegveld is ook in het najaar van 2002 het grondwater bemonsterd.

Cranendonck

Op het bedrijf Cranendonck ligt ook een beweidingsproef, zoals op Zegveld en Waiboerhoeve. Het betreft een zandgrond. De grondwaterkwaliteit is gemeten in oktober, november en december van 2002

Aver Heino

Dit bedrijf, op dalgrond heeft de zelfde proeven als op de voorgaande bedrijven, maar omdat dit bedrijf sinds een jaar is overgestapt op een biologische bedrijfsvoering, wordt de N en P aanvoer hier niet met kunstmest aangevuld.

Laboratoriumanalyses

Alle monsters zijn overgebracht naar het laboratorium. Daar zijn alle monsters eerst gedroogd bij 40°C en gezeefd over 2 mm. Vervolgens zijn verschillende bodemparameters gemeten, die een bepaling van de hoeveelheid actueel uitspoelbaar N of de hoeveelheid potentieel mineraliseerbare N indiceren.

Tabel 5.2 Uitgevoerde laboratoriumanalyses

Bepaling	Korte beschrijving	Referentie
Totaal C	Bepaald volgens Kurmies-methode	Houba et al. (1997)
Totaal N	Spectrofotometrisch na destructie van grond met mengsel van zwavelzuur, salicylzuur en H ₂ O ₂	Houba et al. (1997)
Actueel extraheerbaar N	Extractie van de grond met 0,01M CaCl ₂ -extract, bepaling van NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , totaal oplosbaar N (inclusief organisch N)	Groot & Houba (1995) Houba et al. (2000) Velthof & Oenema (2001)
Potentiële mineralisatie	Incubatie van grond bij 20°C en 60% van de vloeigrens in zakjes van polyethyleen. Potentiële mineralisatie is de toename in 6 en 12 weken van minerale N (0,01M CaCl ₂).	Hassink (1995) Velthof & Oenema (2001)
Hot-KCl-methode	Extractie van de grond gedurende 4 uur met 2M KCl bij 100°C. Bepaling van NH ₄ . Indicator is toename in NH ₄ ten opzicht van de initiële hoeveelheid (bepaald in 0,01M CaCl ₂) door de extractie met hot KCl.	Gianello & Bremner (1986) Groot & Houba (1995) Velthof & Oenema (2001)
pH	Bepaling in 0,01M CaCl ₂ -extract	Houba et al. (2000)
Opgelost organische N	Drogen van grond bij 40°C, extractie met 0,01M CaCl ₂ en de bepaling organische N in extract	Groot & Houba (1995) Houba et al. (2000) Velthof & Oenema (2001)
Opgelost organische C	drogen van grond bij 40°C, extractie met 0,01M CaCl ₂ bepaling organische C in extract	Houba et al. (2000)

Voor de laag 60-90 leek een mineralisatie-experiment niet zinvol en is daarom niet uitgevoerd.

Statistische analyses

Door middel van regressieanalyses is het effect van bodemtype, grondgebruik en bemesting op de verschillende gemeten bodemparameters onderzocht. De afhankelijkheid van bemesting werd beschouwd als een maat voor de reactie van de kandidaat-indicator op bemesting. In de eerste analyses werd ook de meetlaag (0-30, 30-60 of 60-90) mee genomen. Dit bleek zo'n overheersende invloed te hebben op de analyses, dat vrij snel is besloten verdere analyses alleen uit te voeren op de resultaten van de bovenste meetlaag. Dit is naar verwachting de laag waar een eventuele reactie op bemesting als eerste merkbaar zal zijn. Het is tevens de meest geschikte laag om een eventuele grootschalige monitoring op uit te voeren.

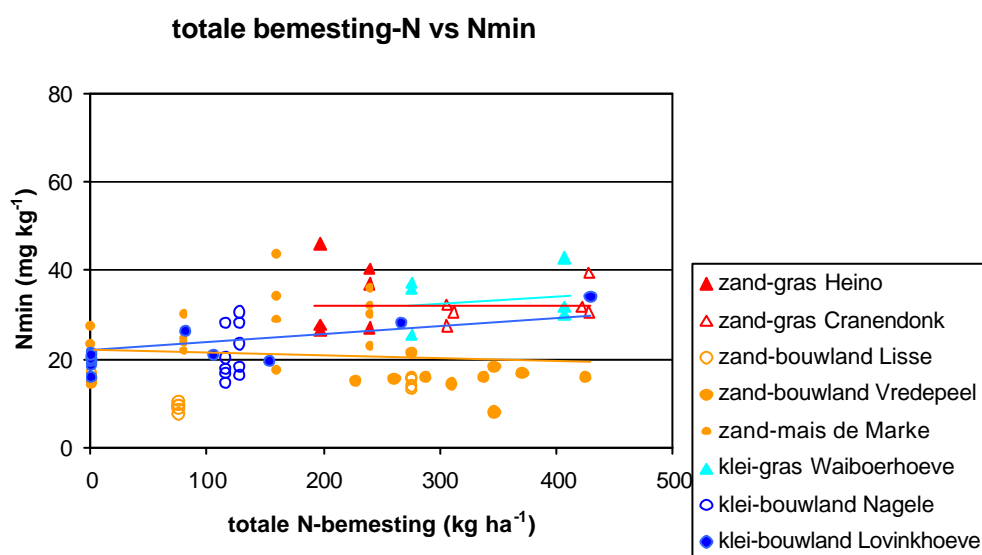
De resultaten, die in het volgende hoofdstuk worden getoond hebben dus allemaal betrekking op de laag 0-30 cm, tenzij anders wordt aangegeven.

6 Resultaten

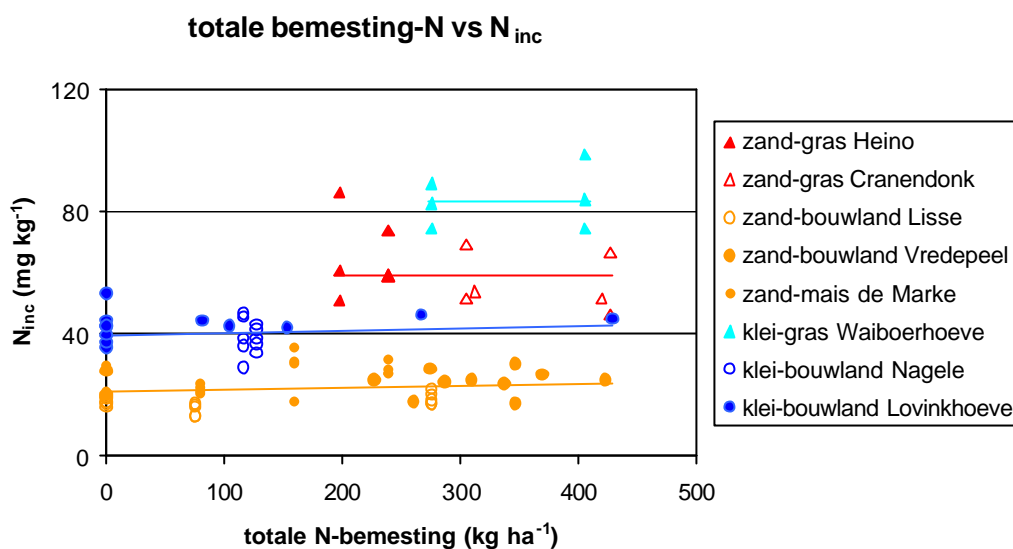
Voor de analyse van de veldmetingen is uiteindelijk op drie niveaus naar de data sets gekeken. In eerste instantie is de relatie tussen de bemestingsgeschiedenis en de gemeten bodemparameters onderzocht, met als doel een bodemparameter te vinden die duidelijk beïnvloed wordt door de bemesting. Vervolgens is er onderzocht welke bodemparameter een goede indicatie geeft van de potentiële mineralisatie. Waarbij verondersteld is dat combinatie van actueel oplosbaar N (ten tijde van bemonstering in het najaar) en de potentiële mineralisatie een verband toont met de uitspoeling. Tenslotte zijn, voor zover mogelijk, de bemestingsniveaus vergeleken met de nitraatgehalten in het grondwater. Deze drie niveaus zullen afzonderlijk besproken worden.

6.1 Relatie bodemparameters met bemesting

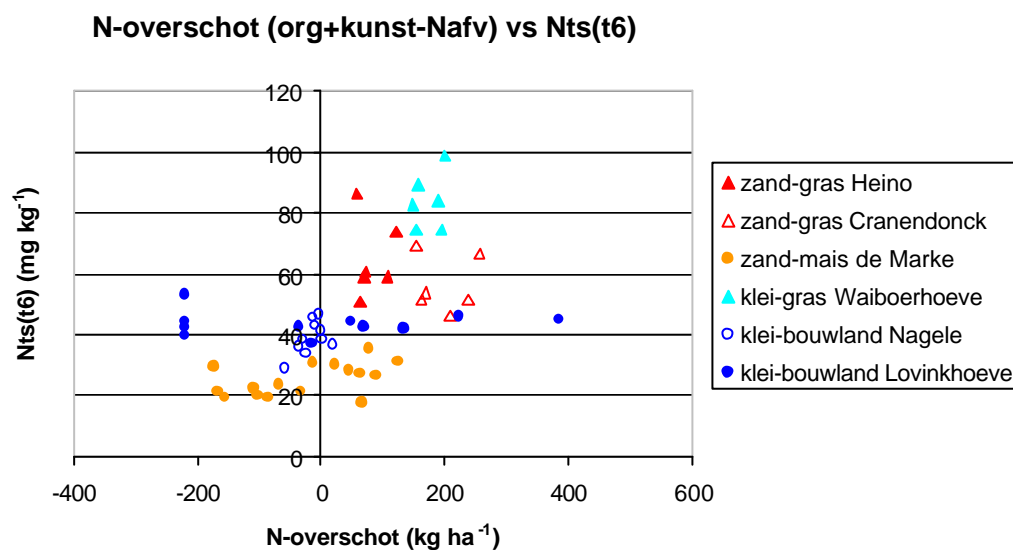
De gemeten bodemparameters bleken geen relatie te hebben met het verschil in bemestingsniveau binnen een bedrijf (zie Figuur 6.1 t/m 6.3). Naar verwachting was N_{inc} , de combinatie van oplosbaar N (organisch en mineraal) in het verse monster en gemineraliseerd N (organisch en mineraal) na 6 weken incubatie, de meest belovende kandidaat-indicator. Uit Figuur 6.2 en 6.3 blijkt echter dat de relatie tussen N_{inc} en bemesting of “overschot” voornamelijk wordt verklaard door grondsoort en grondgebruik. Deze invloed van grondsoort en grondgebruik wordt nog nader uitgediept in paragraaf 6.2.



Figuur 6.1. De relatie tussen N_{min} (in het najaar) in de laag 0-30 cm en bemesting. Vergelijkbare combinaties van bodemtype en grondgebruik hebben een vergelijkbare kleur



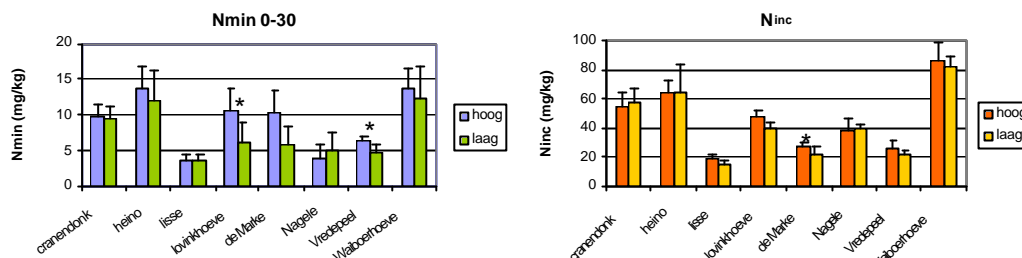
Figuur 6.2. De relatie tussen N_{inc} (alle oplosbaar N bij bemesting + alle oplosbaar N na 6 weken incubatie) en totale N-bemesting (organische mest + kunstmest). De weergegeven resultaten zijn voor de meetlaag 0-30 cm



Figuur 6.3. De relatie tussen N_{inc} (alle oplosbaar N bij bemesting + alle oplosbaar N na 6 weken incubatie) en N-overschot (organische mest + kunstmest - N-opname). De weergegeven resultaten zijn van de meetlaag 0-30 cm

Over het gehele bereik van bemesting of “overschot” (aanvoer door bemesting minus opname) is er een stijgend verband te zien met N_{inc} . Dit verband komt echter vooral voort uit de verschillen in bodemtype en grondgebruik. Binnen een combinatie (binnen een cluster met dezelfde kleur) is geen sprake van een stijgend of dalend verband.

Per bedrijf zijn vervolgens nog N_{min} en N_{inc} uitgezet tegen hoge of lage bemesting op een bedrijf, zie figuren 6.4 en 6.5. Hiervoor zijn per bedrijf de percelen met een vergelijkbaar (hoog of laag) bemestingsniveau samengevoegd. Uit deze figuren blijkt ook weer dat het bemestingsniveau weinig invloed heeft op zowel N_{min} als N_{inc} . Alleen op Lovinkhoeve en Vredepeel blijkt er voor N_{min} een significant effect te zijn. Voor N_{inc} alleen op de Marke.

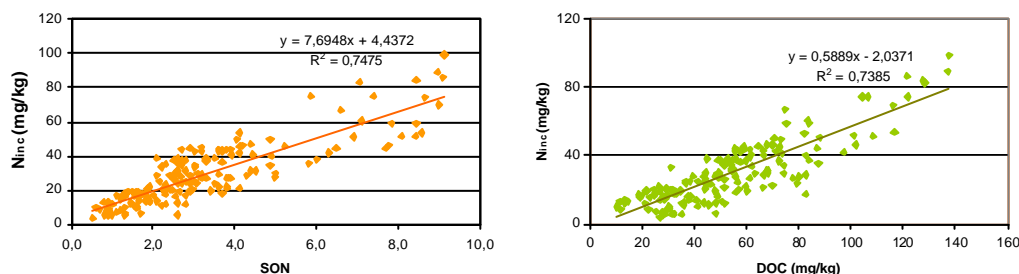


Figuren 6.4 (links) en 6.5 (rechts). Verschillen tussen bemestingsniveau voor N_{min} en N_{inc} . Geaggregeerd op bedrijfsniveau. Significante verschillen tussen “hoog” en “laag” zijn aangegeven met een *

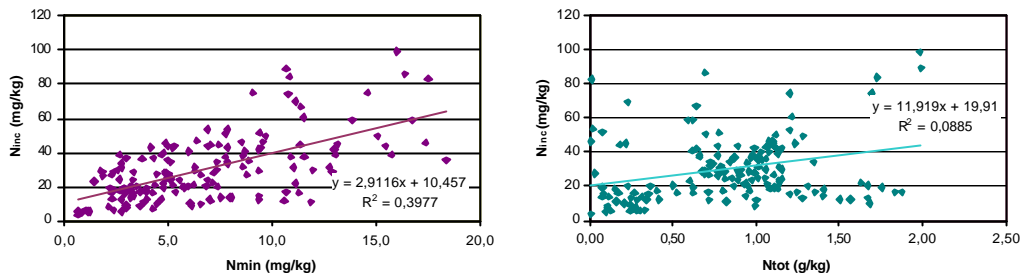
De resultaten voor andere gemeten enkelvoudige bodemparameters, zoals N_{totaal} , Hot-KCl-extraheerbaar NH_4 , oplosbaar organisch N en C en netto N-mineralisatie na 6 of 12 weken, bleken ook geen van allen een goede relatie met bemesting te vertonen. Deze resultaten zijn verder niet in grafieken weergegeven.

6.2 Indicator voor potentiële mineralisatie

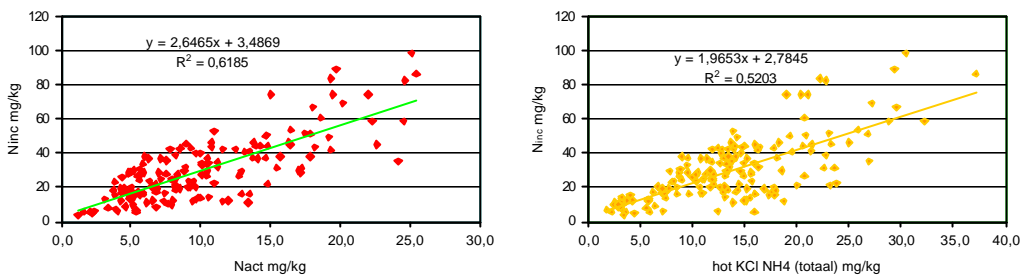
Zoals blijkt uit paragraaf 6.1 is er geen bodemparameter gevonden, die voldoende gevoelig is om een verandering in bemesting weer te geven. Aangezien er wel een grote dataset beschikbaar was, is er een tweede, achterliggende vraag verder uitgezocht. De incubatie van bodemonsters t.b.v. de bepaling van potentiële mineralisatie is een tijdrovende en arbeidsintensieve methode. Op basis van de dataset is uitgezocht of de andere, eenmalige en eenvoudige meetmethoden een goede relatie vertonen met verder gezocht naar een bodemparameter die op een snelle manier iets kan zeggen over de potentiële mineralisatie of de combinatieparameter N_{inc} . De relatie tussen N_{inc} en verschillende andere parameters is weergegeven in de figuren 6.6 t/m 6.10.



figuren 6.6 (links) en 6.7 (rechts). De relatie tussen N_{inc} en SON (oplosbaar organisch N) en DOC (opgelost organisch C). Alles in mg/kg meetgegevens van de lagen 0-30 en 30-60

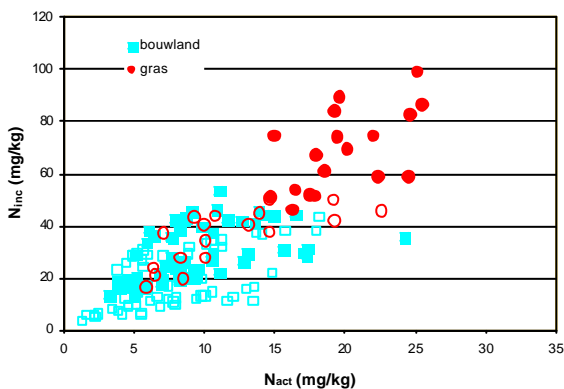


Figuren 6.8 (links) en 6.9 (rechts). De relatie tussen N_{inc} en N_{min} (mineraal) en N_{total} (in organische stof). Meetgegevens van de lagen 0-30 en 30-60



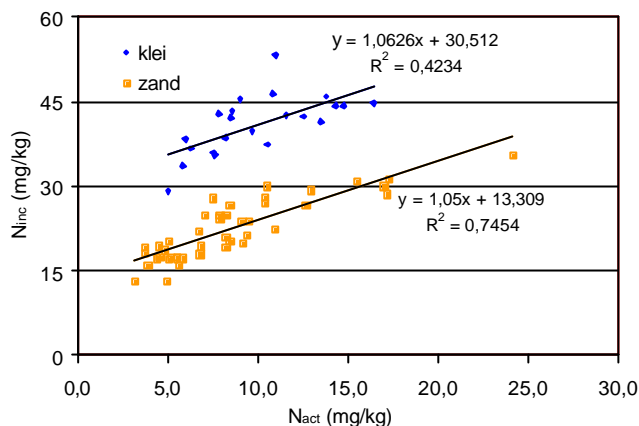
Figuren 6.10 (links) en 6.11 (rechts). Figuur 6.10: De relatie tussen N_{inc} en N_{act} (alle oplosbaar N in vers monster). Figuur 6.11: De relatie tussen N_{inc} en hot-KCl totaal (alle N geëxtraheerd met een hot-KCl extract, inclusief de initiële hoeveelheid NH₄, gemeten in een 0,10 M CaCl₂-extract). Meetgegevens van de lagen 0-30 en 30-60

De relatie tussen N_{act} en N_{inc} (figuur 6.10) is vervolgens verder bekeken. In figuur 6.12 is de puntenwolk van figuur 6.10 uitgesplitst naar meetlaag en grondgebruik. Het blijkt dat de punten van de laag 0-30 (gesloten merktekens) duidelijk boven die van de laag 30-60 (open merktekens) liggen. Verder is het duidelijk dat meetpunten op grasland (rood) een duidelijk hogere N_{act} en N_{inc} hebben dan de punten op bouwland (blauw). Het duidelijke verband tussen deze twee parameters wordt in grote mate bepaald door verschillen in meetlaag en grondgebruik.

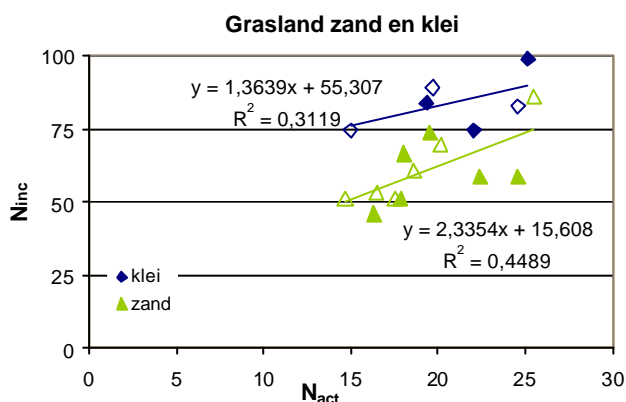


figuur 6.12. De relatie tussen N_{act} en N_{inc} uitgesplitst voor grondgebruik (blauw of rood) en meetlaag (0-30 gesloten merktekens en 30-60 open merktekens)

Als we verder kijken naar de groepen bouwland en grasland in de laag 0-30 (figuur 6.13) is duidelijk te zien dat ook bodemtype een rol speelt. Opvallend is dat bij bouwland de helling voor beide bodemgroepen gelijk is.



figuur 6.13. De relatie tussen N_{act} en N_{inc} voor de groep bouwland in de laag 0-30, uitgesplitst voor bodemtype

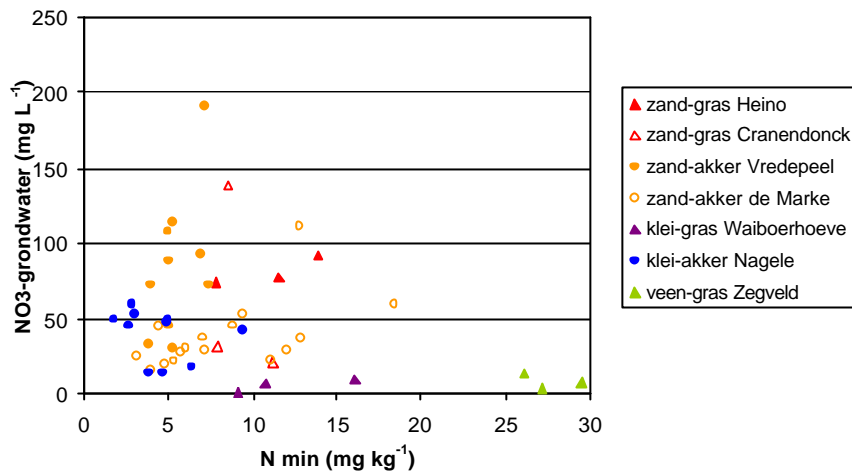


figuur 6.14. De relatie tussen N_{act} en N_{inc} voor de groep grasland in de laag 0-30, uitgesplitst voor bodemtype

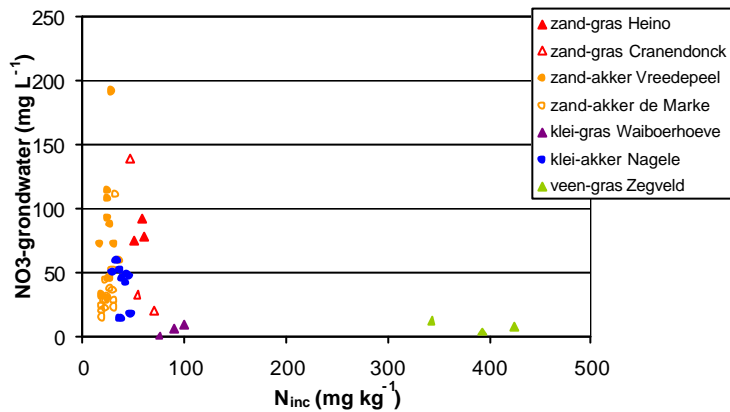
Bovenstaande figuren en relaties geven geen nieuwe inzichten in de speurtocht naar een indicator voor mobiel N in de bodem. Toch ondersteunen ze de resultaten van paragraaf 6.1, omdat ook hier blijkt dat relaties tussen bodemparameters over een groot bereik zeer duidelijk kunnen zijn, maar binnen een kleinere groep (bodem-grondgebruik-combinatie) heel anders kunnen uitpakken. Dit is zeer vergelijkbaar met figuur 6.3.

6.3 Relatie tussen bemesting en nitraat in het grondwater

Hoewel het nemen van watermonsters buiten het project viel, is er toch gekeken naar de relatie met grondwatercijfers. Binnen een aantal van de onderzochte locaties werd voor andere projecten bemonsterd voor grondwater (zie ook Hoofdstuk 5). Het blijkt dat N_{min} en N_{inc} een grote variatie kunnen vertonen met de nitraatconcentraties in het grondwater (figuur 6.15 en 6.16).

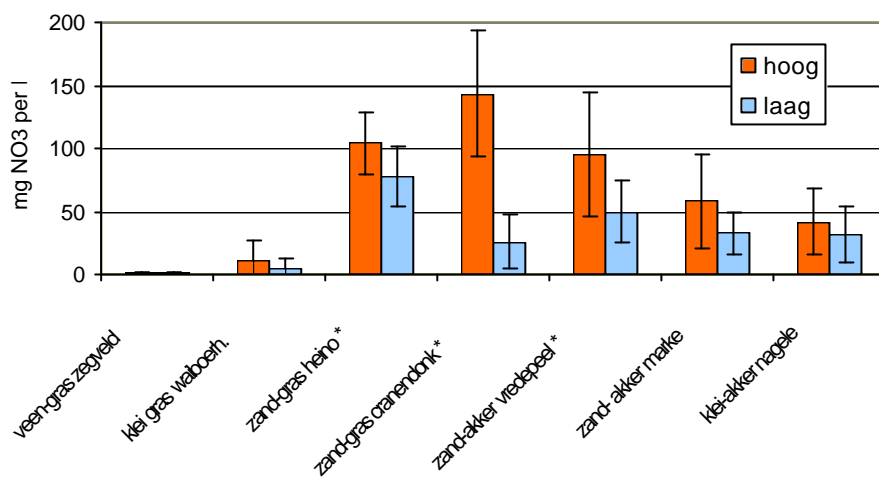


figuur 6.15. De relatie tussen N_{min} in de laag 0-30 cm en NO_3 in het grondwater of drainwater (Nagele)



figuur 6.16. De relatie tussen N_{inc} in de laag 0-30 en de nitraatconcentratie in het grondwater of drainwater (Nagele)

Toch komt ook naar voren dat hoewel er geen relaties tussen bemestingstrategie en de bodemparameters zijn gevonden er wel een effect van bemesting is op de nitraatconcentraties, zodra de gegevens op bedrijfsniveau worden geaggregeerd (figuur 6.17). Hierbij zijn de percelen met een zelfde bemestingsniveau (hoog of laag) samengevoegd. In figuur 6.17 is zijn de verschillen tussen “lage N aanvoer” en “hoge N-aanvoer” vooral duidelijk zichtbaar voor de zandgronden. Ondanks het kleine aantal meetpunten, zijn er op drie bedrijven significante verschillen tussen “hoge” en “lage” bemestingsniveaus waargenomen. Zegveld en Nagele hebben zulke lage uitslagen dat er weinig aan af te lezen valt. Op de Waiboerhoeve (klei) lijkt ook een relatie te bestaan.



figuur 6.17 Verschillen tussen bemestingsniveau voor nitraat in het grondwater. Geaggregeerd op bedrijfsniveau. Significante verschillen tussen "hoog" en "laag" zijn aangegeven met een * na de bedrijfsnaam

7 Conclusie

Binnen dit project hebben wij geen bodemparameter kunnen vinden die meetbaar verandert naar gelang het bemestingsmanagement op een bedrijf verandert. Wel is echter gebleken dat een verandering in bemesting een meetbare verandering van de hoeveelheid nitraat in het grondwater tot gevolg heeft. Een conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat het niet zinvol is om verder te zoeken naar een N-indicator in de bodem. Zodra de stikstof in de bodem terecht komt vinden er zoveel processen plaats dat dit niet binnen één of een paar bodemparameters te vangen is. De resultante van deze processen is echter wel zichtbaar in het grondwater.

Omdat er geen relatie tussen het bemestingniveau en N_{min} of N_{inc} ($N_{min}+SON$ na 6 weken incubatie) gevonden kon worden is er gekeken of er wel een relatie te vinden was tussen een direct te meten bodemparameter en de potentiële mineralisatie, in de vorm van N_{inc} . Hierbij is verondersteld dat N_{inc} een indicatie is van de uitspoeling. Zowel SON als DOC als N_{act} (actueel $N_{min}+SON$) gaven een vrij goede relatie met N_{inc} met respectievelijk $R^2=0,75$, $R^2=0,74$ en $R^2=0,62$. Binnen deze relaties kon een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen grondgebruik en binnen het grondgebruik naar grondsoort.

Literatuur

- Arts, G. , 2003 Mondelinge mededelingen.
- Bijay-Singh JC, Ryden JC & Whitehead DC (1988) Some relationships between denitrification potential and fractions of organic carbon in air-dried and field-moist soils. *Soil Biology and Biochemistry* 20, 737-741.
- Gianello G & Bremner JM (1986) A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 17, 195-214.
- Groenendijk, P., H.P. Oosterom en J. Roelsma, 2001. Implementatie van QUADMODO voor gewasopname in STONE. Alterra-document. 39 p.
- Groot JJR & Houba VJG (1995) A comparison of different indices for nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils* 19, 1-9.
- Hassink, J. 1995. Organic matter dynamics and N mineralization in grasland soils. Proefschrift Landbouw Universiteit Wageningen. 250 p.
- Houba VJG, van der Lee JJ & Novomzamsky I (1997) Soil analysis procedures; Other procedures (Soil and Plant Analysis, part 5B), Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, Wageningen, 217 p.
- Houba VJG, Temminghoff EJM, Gaikhorst GA & Van Vark W (2000) Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31, 1299-1396.
- van Middelkoop, J.C., C. van der Salm, D.J. denBoer, M. ter Horst, W.J. Chardon, R.F. Bakker, R.L.M. Schils & O.F. Schoumans, 2004. Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland. Veld onderzoek op vier locaties, 1997-2001. Praktijkonderzoek Veehouderijrapport. (in druk)
- Murphy DV, Macdonald AJ, Stockdale EA, Goulding, KWT, FortuneS, Gaunt JL, Poulton PR, Wakefield JA, Webster CP & Wilmer WS (2000). Soluble organic nitrogen in agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils* 30, 374-387.
- Ruitenbergh, G.H., F.A. Wopereis en O. Oenema, 1991. Berekende optimale stikstofbemesting voor grasland als functie van grondsoort. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 173. 62. p, 3 kaartbijlagen.
- Schröder, J.J., J.W. Steenhuizen, A.G. Jansen, B. Fraters en A. Siepel, 2003. Opbrengst, mineralenverlies en bodemvruchtbaarheid van een biologisch akkerbouwbedrijf in relatie tot bemestingsniveaus. Resultaten van een Ecologisch Proefbedrijf Dr H.J. Lovinkhoeve 1996-2002. *Plant Research International* rapport 69.
- Velthof, G.L., O Oenema en JA Nelemans, 2001. Vergelijking van indicatoren voor stikstofmineralisatie in bouwland. *Meststoffen* 2000, 45-52.
- de Vos, J.A. & R. Dijkema, 2000. Nitrate leaching from grassland at a heterogeneous sandy soil (internal Alterra-report).
- Zwart, K.B., A.P. Whitmore & J.G. Bokhorst. 1999. Beheer van organische stof in open biologische, ecologische en geïntegreerde teeltsystemen. Eindrapport. AB-DLO rapport 102. 90 p.

Bijlage 1 Uitgangspunten

Processen en balansen

Het ligt voor de hand om bij het zoeken naar een indicator te beginnen bij de N-balans in de bodem. De versimpelde stikstofbalans van het bodem-gewassysteem binnen een landbouwbedrijf ziet er grofweg als volgt uit:

$$N\text{-Aanvoer} - N\text{-Afvoer} = N\text{-Overschot}$$

waarbij:

N-aanvoer = N in mest (organisch+kunstmest) + N in depositie + N-binding (vlinderbloemigen)
hierbij komt voor enkele teelten (bollen, aardbei) ook nog enkele kilo's N uit afdekmateriaal zoals stro.

N-afvoer = N in geoogst gewas

Gewasresten worden op het land achtergelaten of weer terug opgebracht, bijv. in de vorm van compost. Omdat ze niet werkelijk worden afgevoerd komen ze niet in de balans voor.

Binnen dit project is het echter van belang te weten wat er met het overschot gebeurt en het wordt daarom opgesplitst in voorraadverandering in de bodem en verliezen:

$$N\text{-aanvoer} - N\text{-afvoer} + N\text{-voorraadverandering} = N\text{-verliezen},$$

De verandering in de voorraad mineraal (of anorganisch) N wordt als volgt weergegeven

$$\Delta N_{i\text{voorraad}} = N_{i\text{kunstm}} + N_{i\text{os}} + N_{i\text{dep}} - (N_{\text{pl}} - N_{\text{fix}}) - N_{i\text{verl}}.$$

met $N_{i\text{os}} = (N_{\text{os}} * f_{\text{min}})$, waarin:

$N_{i\text{os}}$ = anorganisch(mineraal) N

$N_{i\text{kunstm}}$ = kunstmest-N (direct beschikbaar)

$N_{i\text{os}}$ = anorganisch N (bodemorganische stof, dierlijke mest, gewasresten) beschikbaar na mineralisatie van organische verbindingen

f_{min} = mineralisatie factor

N_{os} = N in organische verbindingen

$N_{i\text{dep}}$ = N input uit atmosferische depositie

N_{pl} = Stikstof opgenomen door plant

N_{fix} = Stikstof opgenomen door plant na eigen atmosferische N binding

$N_{i\text{verl}}$ = Anorganische N verliezen (vervluchtiging, denitrificatie en uitspoeling)

Bovenstaande balans geldt voor mineraal N, dat voor een deel als ammonium vrijkomt bij mineralisatie van stikstof uit organische verbindingen. De voorraad N in organische verbindingen in de bodem is vele malen groter dan de voorraad mineraal N. Gevolgen van de afbraak van organische stof zullen daardoor veel eerder merkbaar zijn in de producten van deze afbraak (mineraal N, DON, DOC), dan in de resterende voorraad N_{totaal} . Bij afbraak van organische stof komt C en N in minerale vorm vrij (CO_2 , NH_4), maar er wordt ook een deel van de organische verbindingen verkleind en omgevormd tot oplosbare organische stof. Deze oplosbare verbindingen bevatten ook stikstof en dit wordt DON (dissolved organic nitrogen) genoemd. Dit kan uitspoelen, maar ook verder worden afgebroken tot ammonium, dat daarna door nitrificatie in nitraat wordt omgezet. Het is nog niet duidelijk hoe de drie vormen van mobiel stikstof (DON, ammonium en nitraat) zich verhouden in de verschillende bodemtypes en bij verschillend landgebruik/vegetatie/gewas. Het is wel van belang om dat te weten, omdat de mobiliteit van de verschillende mobiele N-fracties nogal verschilt. Nitraat is zeer mobiel, maar ammonium kan aan het adsorptiecomplex gebonden worden. DON kan goed uitspoelen, maar het is een verzameling van verschillende soorten moleculen, die onderling in grootte en eigenschappen verschillen en daarmee in mobiliteit kunnen verschillen.

Bijlage 2 Verslag van literatuuronderzoek naar het voorkomen van verschillende vormen van N en het belang voor uitspoeling.

Stikstof (N) in de bodemoplossing kan onderscheiden worden in drie fracties: DON (dissolved organic nitrogen), nitraat (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+). Ammonium is de N-fractie die in veel gronden minder uitspoelingsgevoelig is vanwege adsorptie aan klei en organische stof. DON is naast nitraat de N-fractie die in aanzienlijke hoeveelheden kan uitspoelen en daarmee de N-concentratie van het grondwater kan verhogen.

De term 'DON' wordt in de literatuur niet altijd eenduidig gebruikt. Soms wordt het nadrukkelijk alleen gebruikt voor 'opgelost organisch stikstof', maar soms ook voor 'oplosbaar organisch stikstof'. Murphy et al (2000) maken een duidelijk onderscheid tussen DON (opgelost) en SON (oplosbaar) organisch stikstof. DON is dus de organische stikstof die gemeten wordt in bodemoplossing, grondwater en ander water, terwijl SON metingen in bodem-extracten gedaan worden. Murphy et al (2000) laten zien dat uitgespoeld DON maar ongeveer 10% is van SON. Andere auteurs (Northup et al, 1995; Subler et al, 1997) noemen organisch N in bepaalde bodem-extracten ook DON.

Beide benaderingen hebben een voordeel. Het onderscheid tussen SON en DON maakt duidelijk dat het geheel aan oplosbaar organisch stikstof niet automatisch al in oplossing is, en daarmee dat gehalten van organisch stikstof in bodem-extracten niet vergelijkbaar zijn met de gehalten van organisch stikstof in bodem-water. Daarentegen maakt het gebruik van de term DON voor opgelost en oplosbaar stikstof duidelijk dat het om vergelijkbaar materiaal gaat, waarvan een fractie in oplossing en een groter deel (nog) geadsorbeerd of in aggregaten vastgehouden is (Murphy et al, 2000), maar wel in oplossing kan komen.

Tabel 1 geeft een overzicht van in de literatuur gevonden fracties van DON, nitraat en ammonium in bodem en water van verschillende ecosystemen/landgebruikssystemen. In deze tabel wordt alleen de term DON gebruikt, ook als het om gemeten organisch N in bodem-extracten gaat en dus SON genoemd zou kunnen worden.

Deze tabel laat zien dat DON de grootste fractie van totaal opgelost stikstof (TDN) is in bodem en water van de meeste natuurlijke ecosystemen. Daarentegen leidt een hoge N-bemesting in de meeste gevallen tot een situatie waarin mineraal-N (nitraat+ammonium) het grootste deel van TDN uitmaken, hoewel dit wel sterk afhankelijk is van vegetatie/gewas.

De hoeveelheden DON, nitraat en ammonium en hun verhouding, wordt door meerdere factoren beïnvloed, waaronder: Vegetatie/gewas, bemesting, bodemfauna, pH en temperatuur. Bovendien zijn er verschillen in bodemlagen en water-fracties.

Vegetatie/gewas invloeden op N-fracties

Vegetatie of gewas bepaalt in grote mate de verhouding tussen de DON-fractie en de minerale-N-fractie (DON : Mineraal-N ratio).

Chapman et al (1999) laten zien dat rivieren door moerasland hogere DON concentraties bevatten dan rivieren door bos. Aan de andere kant laten resultaten van Currie et al. (1996) zien dat verschillen in DON : Mineraal-N ratio tussen bossen van verschillende boomsoorten even groot kunnen zijn. Verschillen in DON : Mineraal-N ratio kunnen in mindere mate ook voorkomen bij maar weinig-verschillende gewas-rotaties (Subler et al, 1997).

Verwijderen van bos door kappen, resulteerde in een flinke verhoging van de nitraat concentratie en een kleine verhoging (Smolander et al, 2001) of vermindering (Parsons et al., 1994) van DON. Dit leidt tot een lagere DON : Mineraal-N ratio.

De reden voor de grote verschillen in DON : Mineraal-N ratio van bodem en water zoals beïnvloed door verschillende vegetaties/gewassen, zou mogelijk te verklaren zijn uit de kwaliteit van het organisch materiaal dat de betreffende vegetaties/gewassen aan de grond toevoegen, en daarmee de balans tussen mineralisatie en immobilisatie van N (Murphy et al, 2000). Northup et al. (1995) vinden dat de DON : Mineraal-N ratio kleiner is bij afnemend tannine en polyfenol gehalte en

afnemende C : N ratio van organisch materiaal van het aan de bodem toegevoegde organische materiaal. Ook Murphy et al (2000) suggereren dat de oorspronkelijke vorm van

DON%	NO3%	NH4%	Situation	Ref.
			Lakes and streams	
36	61	3	Inlet of lake Arbustus NY/USA	McHale et al 2000
61	33	6	Outlet of lake Arbustus NY/USA	McHale et al 2000
50	40	10	Undisturbed watersheds	Lewis et al 1999
22.5	75	2.5	Average of streams in Britain	Chapman et al 2001a
28-87	nm	nm	Watershed with hardwood on lower and spruce / fir on higher slopes	Goodale et al 2000
86	12	2	Streams in Sierra Nevada / USA	Coats and Goldman, 2001
90		10	Stream through 450 yr old forest / Oregon	Triska et al 1984
65-97	1-12	2-23	Yantai Sishili Bay / China	Zhao et al, 2000
40-90		10-60	Rivers draining in salt marshes of Georgia / USA	Alberts et al, 1999
87-94		6-13	Discharge of lake Tahoe watershed Nevada / USA	Marcus et al 1998
14-69	25-84	<7	River water from 61 watersheds in uplands / UK	Chapman et al 1998
67*	33	nm	N-export in streams of unfertilized forest catchment	Hagedorn et al 2001
44*	56	nm	N-export in streams of forest catchment with 90 kgN ha ⁻¹ 3yr ⁻¹	
			Forest Soils (with/without N-fertilizer)	
95.5	0.5	4	Leachate from Scots pine without fertilizer (mean O,E,B horizon)	Vestgarden et al, 2001
25	64	11	Leachate from Scots pine with 30 kgN ha ⁻¹ yr ⁻¹ (mean O,E,B hor.)	
11	59	30	Leachate from Scots pine with 90 kgN ha ⁻¹ yr ⁻¹ (mean O,E,B hor.)	
90		10	Infertile acidic soil with <i>P. muricata</i> litter (soil-extracts?)	Northup et al, 1995
33		66	Moderately fertile acidic soil with <i>P. muricata</i> litter (soil-extracts?)	
>70		<30	Acid forest soil with no or 35 kgN ha ⁻¹ yr ⁻¹ (water from suction-cups)	Raastad & Mulder, 1999
62-83	17-38		Leachate from a Norway spruce stand	Smolander et al, 2001
86	2	12	Aquifer in Quercus forest Massachusetts / USA	Hinckley et al 2001
8		92	Forest floor leachate after N-additions / UK	McDowell et al, 1998
56-67		33-44	Forest floor leachate without N-additions / UK	Currie et al, 1996
98		2	Mineral soil leachate without N-additions / UK	
7		93	Oa horizon leachate and deep horizon leachate after <i>high</i> N-amendment, in pine forest	
78-96		4-22	Oa horizon leachate and deep horizon leachate after <i>high</i> N-amendment, in hardwood forest	
28	51	21	Throughfall	
			Related to Agriculture (with or without fertilizer)	
12	87	1	Groundwater of fields with <i>high</i> mushroom compost	Kaplan et al, 1995
43	49	8	Soil-water of fields with <i>high</i> mushroom compost	
0	100	0	Groundwater of fields with <i>low</i> mushroom compost	
1.6	97	1.4	Soil water of fields with <i>low</i> mushroom compost	
77		23	Corn-soybean rotation with 150 kgN ha ⁻¹ 2yr ⁻¹ (soil-extract)	Subler et al, 1997
83		17	Corn-soybean-wheat-vetch rotation with 150 kgN ha ⁻¹ 2yr ⁻¹ (soil-extract)	
25		75	Water from rice fields in Ebro-delta / Spain	Comin et al 1997
61		39	Water from rice fields in Ebro-delta after filtration through wetlands	
20		nm	Drain-water of grassland	Hawkins et al, 1997
33		nm	Continuous arable cropping (soil-extract)	Murphy et al, 2000
60		nm	After 8 years grass (soil-extract)	
80		nm	In organic farm (soil extract)	
55		nm	Under wheat (soil extract)	McNeill et al, 1998
66		nm	Under pasture (soil extract)	

same absolute amount.

nm - not given, likely 100 minus DON%

DON fractions measured in *soil extracts*, would be called SON by e.g Murphy et al (2000)

stikstof in organisch materiaal waarschijnlijk bepaalt of mineralisatie ophoud bij productie van SON of doorgaat tot NH_4^+ is gevormd. SON als onvolledig mineralisatie product zou recalcitrant kunnen zijn voor verdere mineralisatie, zoals Smith (1987) vindt, of na bv N-bemesting verder mineraliseerbaar zijn (Appel & Mengel, 1990).

Effecten van bemesting op N-fracties.

Het effect van N-bemesting op de DON : Mineraal-N ratio in bodem en water komt duidelijk naar voren in tabel 1. Bij N-bemesting wordt meestal de DON : Mineraal-N ratio kleiner. Doordat tabel 1 is uitgedrukt in procenten zijn de gegevens uit de literatuur goed te vergelijken. Deze percentages maskeren echter de veranderingen in absolute DON en Mineraal-N concentraties in bodem en water. De afname in DON : Mineraal-N ratio kan veroorzaakt worden door een afname in DON concentratie (Vestgarden et al, 2001) of aan gelijkblijvende DON concentratie bij sterk toenemende Mineraal-N concentratie (Hagedorn et al, 2001). Na N-bemesting kan zelfs bij afnemende DON concentratie de bijdrage van DON aan de uitspoeling hoog zijn (Vestgarden et al, 2001).

De reden voor de verschillende effecten van N-bemesting op absolute DON-concentraties (afname, gelijk-blijven, toename) houdt mogelijk verband met vegetatie/gewas en de redenen voor verschillen in DON : Mineraal-N ratio van bodem en water onder die verschillende vegetaties/gewassen zoals beschreven in de vorige paragraaf.

Bekalking bevordert in sommige gevallen de nitrificatie en beïnvloedde daarmee de fractie verhouding tussen nitraat en ammonium (Smolander et al, 1995; Vestgarden et al 2001). Bekalking kan ook de adsorptie van DON aan de bodem verkleinen (Murphy et al, 2000) Magnesium-giften verhoogden de DON concentratie in bodemuitspoeling onder Grove Den door onbekende reden (Vestgarden et al 2001).

Effecten van bodemfauna op N-fracties

Murphy et al (2000) vinden dat bruto N-mineralisatie van een verscheidenheid aan landbouwgronden minder variëren dan netto N-mineralisatie, en dat dus de immobilisatie een belangrijke factor is in nitraat en DON productie, en N-fractie verhoudingen. Subler et al (1997) vinden een tienvoudige toename in DON in bodem-extracten (=SON) na toevoeging van regenwormen. Kennelijk kan micro- of mesofauna in de bodem een belangrijke invloed uitoefenen op de hoeveelheden nitraat en DON en de N-fractie verhoudingen.

Effect van pH en Temperatuur op N-fracties

Veranderingen in pH hebben verschillende effecten op DON-concentratie van bodem of water. Andersson et al (2000) vinden hogere DON uitspoeling bij hogere pH in een lab-incubatie van mor-humus (pH range 4.3-5.4). Murphy et al vinden een maximale adsorptie van SON bij pH 4-5 en afnemende adsorptie bij hogere pH. Solinger et al (2001) vinden dat DON uitspoeling in bos niet afhangt van pH. Aan de andere kant vinden Nilsson et al (2001) een hogere adsorptie van DON na bekalking. Bergmann et al (1997) vinden een hogere DON concentratie in de bodem bij lagere pH (pH range 3.8-5.2).

De relatie tussen temperatuur en DON uitspoeling is afwezig (Chapman et al, 2001b; Michalzik et al, 1998) of positief gecorreleerd maar met klein effect (Solinger et al, 2001; Andersson et al 2000, Michalzik et al, 1998).

N-fracties in verschillende bodemlagen en water-fracties

Over het algemeen zijn DON concentraties hoger in bodemlagen met meer organische stof, zoals de O-horizon (Smolander et al, 1995; Solinger et al 2001; Chapman et al, 2001b) of Ac horizon (Hill et al, 1999) dan in de minerale ondergrond van een bodemprofiel. Desondanks kan DON als fractie van TDN toenemen met toenemende diepte (Smolander et al, 1995; Hagedorn et al, 2001). Dit wordt mogelijk veroorzaakt door hogere retentie van inorganisch N dan DON, bijvoorbeeld door immobilisatie van inorganische N-fracties (Hill et al, 1999). De hogere retentie van inorganisch-N in vergelijking met DON is mogelijk ook de oorzaak van de toename in DON :

Mineraal-N ratio in water na filtering door moeras (tabel 1 Comin et al, 1997) of verblijf in meren (tabel 1 Mc Hale et al, 2000).

In regen komt voornamelijk mineraal-N voor. In 'throughfall' komt hier enig DON bij. DON is echter vaak de grootste fractie van TDN in uitspoelingswater (Hagedorn et al, 2001), grondwater (Hinckley et al 2001) en in rivieren (Campbell et al, 2000), hoewel de fractie verhouding in rivieren in grote mate lijkt te worden bepaald door vegetatie/landgebruik in het stroomgebied zoals eerder genoemd (zie tabel 1).

Seizoens verschuivingen in N-fracties

De concentratie van de verschillende N-fracties in uitspoeling fluctueert door het jaar heen. Over het algemeen zijn nitraat concentraties het hoogst in de winter (Chapman et al, 1999; Campbell et al, 2000; Hagedorn et al, 2001), terwijl de DON concentraties hun maximum bereiken aan het eind van de zomer en in de herfst (Chapman et al, 1999; Murphy et al, 2000; Hood et al, 2001), hoewel seizoens variatie van DON niet altijd duidelijk is (Goodale et al, 2000; Solinger et al, 2001).

Variatie in DOC : DON ratio en DON-fracties

De C : N ratio van opgeloste organische stof (DOC : DON ratio) is niet constant. DOC : DON ratio varieert met diepte in het bodemprofiel, seizoen (Hood et al, 2001; Solinger et al 2001), vegetatie en kwaliteit van het toegevoegde organische materiaal (Hood et al, 2001) en DOC : DON ratio neemt af na langdurige stikstof bemesting (Mc Dowell et al, 1998).

Enige redenen hiervoor zijn te vinden in de eigenschappen van verschillende DOC-fracties. De belangrijkste fracties van DOC, die stikstof bevatten zijn; hydrofiele zuren, hydrofobe zuren, fenolen en hydrofiele neutralen (?) (Smolander et al, 2001). Hydrofiele zuren hebben een hoger N-gehalte dan hydrofobe zuren (Kaiser & Zech, 2000). Hydrofiele zuren, met een relatief hoog N-gehalte, adsorberen minder aan de bodem dan hydrofobe zuren (Kaiser & Zech, 2000; Nilsson et al, 2001) waarmee dus de hydrofiele fractie van DOC toeneemt met toenemende diepte in het bodemprofiel (Raastad & Mulder, 1999). Dit zou een verhoging in DOC : DON ratio tot gevolg kunnen hebben, die overigens niet uit metingen van Raastad & Mulder (1999) naar voren komt. De seizoensvariatie in DOC : DON ratio kan mogelijk op vergelijkbare wijze verklaard worden. Smolander et al (2001) vinden dat de relatieve hoeveelheid hydrofiele zuren toeneemt na de incubatie van DOC. Wanneer dit in de natuur ook gebeurt, kan dat de relatieve toename van hydrofiele zuren tussen Juni en December verklaren zoals genoemd door Hood et al (2001), en daarmee de seizoensverandering in DOC : DON. Misschien speelt dit een rol in de DON piek in uitspoeling gemeten aan het eind van de zomer en in de herfst zoals eerder genoemd. Murphy et al (2000) geven aan dat in landbouw gronden meer hydrofoob DON voorkomt en in grasland- en bosgronden meer hydrofiel DON. Dit speelt mogelijk een rol in de hogere DON fractie in uitspoelings- en grondwater onder grasland en bos.

Referenties

- Andersson S, Nilsson SI and Seatre P, 2000. Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in mor humus as affected by temperature and pH. *Soil Biology and Biochemistry* 31:1, 1-10.
- Alberts JJ and Takacs, M, 1999. Importance of humic substances for carbon and nitrogen transport into southeastern United States estuaries. IN: Senesi N, Qualls RG and Miano JM (eds), *Matter and energy fluxes in the anthropocentric environment. Proceedings of the XII International Symposium on Environmental Biogeochemistry. Organic Geochemistry*30:6, 385-395.
- Appel T and Mengel K, 1990. Importance of organic nitrogen fraction in sandy soils, obtained by electro-ultrafiltration or CaCl₂ extraction, for nitrogen mineralization and nitrogen uptake of rape. *Biol Fertil Soils* 10, 97-101.

- Bergmann C, Fischer T, Huttel RF and Vetterlein D, 1997. Organic matter application and element turnover in disturbed terrestrial ecosystems. Selected papers from a symposium, Cottbus, Germany, 13-15 November 1997. *Plant and Soil* 213:1-2, 11-21.
- Campbell JL, Hornbeck JW, McDowell WH, Busco DC, Shanley JB and Likens GE, 2000. *Biogeochemistry* 49:2, 123-142.
- Chapman PJ, Edwards AC, Reynolds B, Cresser MS, Neal C, 1998. The nitrogen content of rivers in upland Britain: the significance of organic nitrogen. In: Kovar K, Tappeiner U, Peters NE and Craige RG (eds), *Hydrology, water resources and ecology in headwaters. Proceedings of HeadWater'98, Meran-Merano, Italy, 20-23 April 1998.* IAHS Press; Wallingford UK, pp. 443-450.
- Chapman PJ, Edwards AC, Reynolds B, Neal C and Heathwaite L, 1999. Impact of land-use change on nutrient loads from diffuse sources. *Proceedings of an International Union of Geodesy and Geophysics, at Birmingham, UK, 18-30 July 1999.* IAHS Publication No 257, pp 17-26.
- Chapman PJ and Edwards AC, 2001a. Inorganic and organic losses of nitrogen from upland regions of Britain: concentrations and fluxes. In: Galloway JN, Cowling EB, Erisman JW, Wisniewski J and Jordan C (eds), *Optimizing nitrogen management in food and energy production and environmental protection. Proceedings of the 2nd International Nitrogen Conference on Science and Policy, Potomac, MD, USA, 14-18 Oct 2001.* TheScientificWorld. 2001, 1: tsw.2001.273, 589-596.
- Chapman PJ, Williams BL and Hawkins A, 2001b, Influence of temperature and vegetation cover on soluble inorganic and organic nitrogen in a Spodosol. *Soil Biology and Biochemistry* 33:7-8, 1113-1121.
- Coats RN and Goldman CR, 2001. Patterns of nitrogen transport in streams of the Lake Tahoe Basin, California-Nevada. *Water Resources Research* 37:2, 405-415.
- Comin FA, Romerao JA, Astorga V, Garcia C, 1997. Nitrogen removal and cycling in restored wetlands used as filters of nutrients for agricultural runoff. In: Haberl R, Perfler R, Laber J and Cooper P (eds), *Wetlands systems for water-pollution control 1996. Proceedings of the 5th International Conference, Vienna, Austria, 15-19 September 1996.* *Water Science and Technology* 35:5, 255-261.
- Currie WS, Aber JD, McDowell WH, Boone RD and Magill AH, 1996. Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N-amendments in pine and hardwood forests. *Biogeochemistry* 35: 471-505.
- Goodale CL, Aber JD and McDowell WH, 2000. The long-term effects of disturbance on organic and inorganic nitrogen export in the White Mountains, New Hampshire. *Ecosystems* 3:5, 433-450.
- Hagedorn F, Bucher JB and Schlegli P, 2001. Contrasting dynamics of dissolved inorganic and organic nitrogen in soil surface waters of forested catchments with Gleysols. *Geoderma* 100, 173-192.
- Hawkins JMB, Scholefield D, Jarvis SC, 1997. Organic N losses from a poorly drained grassland soil. In: Petchey AM, D'Arcy BJ, Frost CA (eds) *Proceedings of the Scottish Agricultural College Diffuse Pollution and Agriculture Conference LL, Edinburgh University, Scotland, 9-11 April 1997.* Edinburgh University, Scotland, pp 246-248.
- Hill AR, Kemp WA, Buttle JM and Goodyear D, 1999. Nitrogen chemistry of subsurface storm runoff on forested Canadian shield hillslopes. *Water Resources Research* 35:3, 811-821.
- Hinckley ELS, Neill C, McHorney R, Lezberg A, 2001. Dissolved organic nitrogen dynamics in groundwater under a coastal Massachusetts forest. In: Eckberg W, Gould R, Malchow RP and Valeila I (eds), *General Scientific Meetings of the Marine Biological Laboratory, Woods Hole, Massachusetts, USA, 13-14 August 2001.* *Biological Bulletin.* 2001, 201:2, 288-290.
- Hood EW, Williams MW, 2001. Seasonal changes in the character and nitrogen content of dissolved organic matter in an alpine/subalpine headwater catchment. In: Galloway JN, Cowling EB, Erisman JW, Wisniewski J and Jordan C (eds), *Optimizing nitrogen management in food and energy production and environmental protection. Proceedings of*

- the 2nd International Nitrogen Conference on Science and Policy, Potomac, MD, USA, 14-18 Oct 2001. *TheScientificWorld*. 2001, 1: tsw.2001.273, 556-563.
- Kaiser K and Zech W, 2000. Sorption of dissolved organic nitrogen by acid subsoil horizons and individual mineral phases. *European Journal of Soil Science* 51:3, 403-411.
- Kaplan LA, Standley LJ and Newbold D, 1995. Impact on water quality of high and low density applications of spent mushroom substrate to agricultural soils. *Compost Science and Utilization* 3:1, 55-63.
- Lewis WM Jr, Melack JM, McDowell WH, McClain M and Richey, JE, 1999. Nitrogen yields from undisturbed watersheds in the Americas. *Biogeochemistry* 46, 149-162.
- Marcus JA, Miller WW and Blank RR, 1998. Soil processes and chemical transport: inorganic and suspended/dissolved organic nitrogen in Sierra Nevada soil core leachates. *Journal of Environmental Quality* 27:4, 755-760.
- Mc Dowell WH, Currie WS, Aber JD and Yano Y, 1998. Effects of chronic nitrogen amendments on production of dissolved organic carbon and nitrogen in forest soils. *Water Air and Soil Pollution* 105:1-2, 175-182.
- Mc Hale MR, Mitchell MJ, McDonnell JJ and Cirimo CP, 2000. Nitrogen solutes in an Adirondack forested watershed: importance of dissolved organic nitrogen. *Biogeochemistry* 48:2, 165-184.
- McNeill AM, Sparling GP, Murphy DV, Braunberger P, Fillery IRP, 1998. Changes in extractable and microbial C, N and P in a Western Australian wheatbelt soil following simulated summer rainfall. *Australian Journal of Soil Research* 36, 841-854.
- Michalzik B, Kusel K, Solinger St and Matzner E, 1998. Dynamics of DOC and DON in forest soils. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 87, 225-236.
- Murphy DV, Macdonald AJ, Stockdale EA, Goulding KWT, Fortune S, Gaunt JL, Poulton PR, Wakefield JA, Webster CP and Wilmer WS, 2000. Soluble organic nitrogen in agricultural soils. *Biol Fertil Soils* 30, 374-387.
- Nilsson SI, Andersson S, Valeur I, Persson T, Bergholm J and Wiren A, 2001. Influence of dolomite lime on leaching and storage of C, N and S in a Spodosol under Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Forest Ecology and Management* 146:1-3, 55-73.
- Northup RR, Yu Z, Dahlgren RA and Vogt KA, 1995. Polyphenol control of nitrogen release from pine litter. *Nature* 377, 227-229.
- Parsons WFJ, Knight DH and Miller SL, 1994. Root gap dynamics in lodgepole pine forest: nitrogen transformations in gaps of different size. *Ecological Applications* 4:2, 3354-362.
- Raastad IA and Mulderm J, 1999. Dissolved organic matter (DOM) in acid forest soils at Gardsjon (Sweden): Natural variabilities and effects of increased input of nitrogen and of reversal of acidification. *Water, Air and Soil Pollution* 114, 199-219.
- Smith SJ, 1987. Soluble organic nitrogen losses associated with recovery of mineralized nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am J.* 51, 1191-1194.
- Smolander A, Kitunen V, Priha O, Malkonen E, 1995. Nitrogen transformations in limed and nitrogen fertilized soil in Norway spruce stands. *Plant and Soil* 172, 107-115.
- Smolander A, Kitunen V and Malkonen E, 2001. Dissolved organic nitrogen and carbon in a Norway spruce stand and an adjacent clear-cut. *Biol. Fertil. Soils* 33, 190-196.
- Solinger S, Kalbitz K and Matzner E, 2001. Controls of the dynamics of dissolved organic carbon and nitrogen in a Central European deciduous forest. *Biogeochemistry* 55:3, 327-349.
- Subler S, Baranski CM and Edwards CA, 1997. Earthworm additions increased short-term nitrogen availability and leaching in two grain-crop agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 29:3-4, 413-421.
- Triska FJ, Sedell JR, Cromack K Jr., Gregory SV and McCorison FM, 1984. Nitrogen budget for a small coniferous forest stream. *Ecological Monographs* 54:1, 119-140.
- Vestgard LS, Abrahamsen G and Stuanes AO, 2001. Soil solution response to nitrogen and magnesium application in a scots pine forest. *Soil Sci. Soc. Am J.* 65, 1812-1823.
- Zhao WH, Jiao NZ, and Zhao ZX, 2000. Forms of nitrogen in the Yantai Sishili Bay cultivated water. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 31:1, 53-59.

Bijlage 3 Resultaten uit lopend onderzoek m.b.t. verschillende vormen van mobiel stikstof

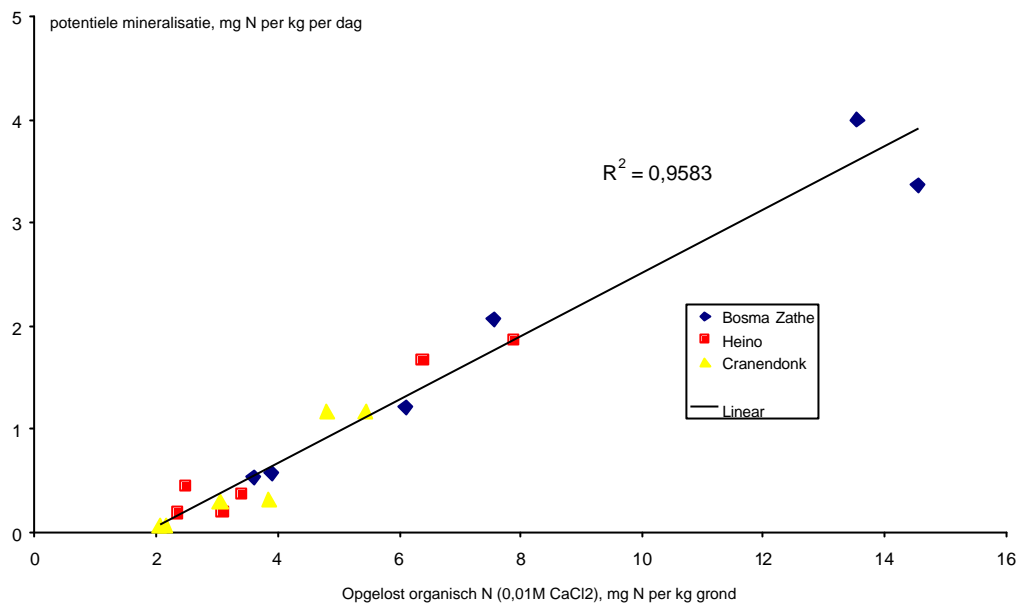
Resultaten van een verkenning van de database van Sturen op Nitraat (Hack-ten Broeke et al., 2003)

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

Ongepubliceerde resultaten van Scheuren van grasland (398-II, 2b). De voorraden Nmin en DON in verschillende bodemlagen en de relatie tussen DON en potentiële mineralisatie (G, Velthof)

Bemesting			Cranendonk		Bosma Zathe		Heino	
			Nmin kg N/ha	DON kg N/ha	Nmin kg N/ha	DON kg N/ha	Nmin kg N/ha	DON kg N/ha
geen	niet gescheurd	0-30 cm	10	28	26	21	20	28
		30-60 cm	5	11	12	13	6	12
		60-90 cm	14	9	9	55	6	13
		totaal	30	47	47	89	32	52
geen	voorjaar	0-30 cm	27	18	25	32	27	25
		30-60 cm	18	10	32	20	9	11
		60-90 cm	19	8	26	54	5	10
		totaal	64	36	84	106	41	46
N2	niet gescheurd	0-30 cm	10	18	29	13	32	26
		30-60 cm	9	8	12	14	5	10
		60-90 cm	10	8	12	54	5	10
		totaal	29	33	53	81	42	45
N2	voorjaar	0-30 cm	29	20	25	21	30	23
		30-60 cm	278	35	17	13	7	10
		60-90 cm	14	9	19	57	6	10
		totaal	320	65	61	91	42	43
N3	niet gescheurd	0-30 cm	13	17	35	27	26	28
		30-60 cm	7	0	18	14	5	13
		60-90 cm	7	9	13	61	5	13
		totaal	27	26	66	102	36	55
N3	voorjaar	0-30 cm	33	20	31	22	22	23
		30-60 cm	50	15	15	15	6	10
		60-90 cm	16	9	20	0	6	10
		totaal	99	44	66	37	34	43

Onderstaande grafiek geeft aan dat DON een mooie indicator zou zijn voor de hoeveelheid mineraliseerbare stikstof. Hierbij moet opgemerkt worden dat als DON volledig aan mineralisatie onderhevig zou zijn, deze binnen enkele dagen op zou zijn.



Bijlage 4 Verkenning van lopend N-onderzoek

In het kader van het project N-indicator is een verkenning uitgevoerd naar lopend en recent afgerond onderzoek op het gebied van stikstof uitspoeling. In onderstaand overzicht worden eerst de lopende projecten besproken, die primair gericht zijn op de kwantificering van de nitraatuitspoeling en de mogelijkheden tot vermindering hiervan. Vervolgens worden projecten genoemd die wel over stikstof gaan, maar niet de kwantificering van uitspoeling als primair doel hebben. Hier worden ook enkele projecten genoemd, die niet intern worden uitgevoerd. Tenslotte nog een omschrijving van twee landelijke meetnetten (bodem en effecten mestbeleid), die bij het RIVM worden onderhouden.

Sturen op Nitraat (STOPNIT)

Het idee om te zoeken naar een indicator voor nitraat is niet nieuw. Het project STuren OP NITraat (STOPNIT) is in 2000 van start gegaan en heeft als doel een indicator of een set indicatoren te ontwikkelen voor nitraatuitspoeling die geschikt is:

- als grondslag voor aanvullend stikstofbeleid
- voor management op bedrijfsniveau
- als instrument voor gebiedsgericht beheer en
- voor de monitoring van gebiedsgericht beleid

Binnen STOPNIT ligt de nadruk op nitraat in het grondwater, N_{min} in het najaar, perceeloverschot en bedrijfsoverschot. Deze vier kandidaat-indicatoren worden bepaald binnen een steekproefopzet met 480 locaties, verdeeld over de zand- en lössgronden op 34 verschillende akkerbouw- en melkveehouderijbedrijven. Op deze locaties worden eveneens gegevens verzameld over bodem (waaronder ook denitrificatiecapaciteit en mineralisatiecapaciteit), grondwatertrap (Gt), gewas, bemesting, beweiding en neerslag. Voor meer informatie over de gegevensverzameling binnen Sturen op nitraat, zie Smit et al. (2003)

Het zoeken naar een indicator voor nitraatuitspoeling binnen STuren OP NITraat heeft het inzicht opgeleverd dat N_{min} in het najaar (N_{min}) de beste indicator is om de nitraatconcentratie in het grondwater in het daaropvolgende voorjaar mee te voorspellen. In ieder geval lijkt N_{min} een betere indicator dan perceels- of bedrijfsoverschot op basis van de analyse van gegevens van drie meetseizoenen.

Er heeft een uitgebreide regressie-analyse plaatsgevonden. Voor de akkerbouw wordt daarbij een vrij goede relatie gevonden tussen N_{min} en nitraat met als extra verklarende variabelen de Gt en de neerslag. Voor de melkveehouderij levert de regressie-analyse tot nu toe minder duidelijke resultaten op maar N_{min} in het najaar blijft ook hierbij de belangrijkste parameter. Dit biedt zicht op een indicator waarmee het 'gericht sturen op nitraat' daadwerkelijk mogelijk lijkt. Voor verder informatie, zie Hack-ten Broeke et al (2003) en Burgers et al. (2004)

Telen met Toekomst

Het project Telen met Toekomst is op zoek naar maatregelen, die uitspoeling van nitraat (en fosfaat) uit groenteteelt, akkerbouw, bloembollen en boomteelt kunnen verminderen. Op proefbedrijven worden verregaande maatregelen ontworpen en getoetst, op voorloperbedrijven worden de beproefde maatregelen overgenomen. Op de voorloperbedrijven (praktijkbedrijven) worden balansen opgesteld, N_{min} metingen gedaan in voor- en najaar en na de oogst. Daarnaast wordt er jaarlijks door het RIVM een kwaliteitsmeting verricht aan het grondwater en eventueel aan drainwater. Op twee proefbedrijven (groenteteelt en akkerbouw) worden uitgebreide metingen gedaan om de verschillende processen in kaart te brengen en de relatie tussen teelt en uitspoeling te achterhalen. Dit gebeurt bij verschillende gewassen en bemestingsstrategieën.

In de bodem wordt gedurende het teeltseizoen maandelijks N_{min} gemeten en 's winters minder frequent. Verder zijn er mineralisatiemetingen gedaan aan meerdere bodemlagen en worden gewasresten geïncubeerd (Smit en Zwart, 2003). Tenslotte worden ook overschotten berekend en perceelsbalansen opgesteld.

Nitraatconcentraties in grondwater en bodemvocht worden fluxafhankelijk gemeten (iedere 30 tot 50 mm neerslagoverschot). Aan oppervlaktewater worden geen metingen verricht. Grondwaterstanden en bodemvochtgehalten worden zeer frequent gemeten, zodat voor de modellering van uitspoeling voldoende gegevens beschikbaar zijn (Smit et al., 2004, Assinck en de Willigen, 2004 en de Vos en Assink, 2004)

Als aanvulling is dit jaar een proef begonnen met nauwkeuriger bemesten op basis van gegevens over N_{min}, verwachte mineralisatie in de komende periode en de verwachte opname door het gewas.

DOVE – projecten (zand, klei en veen)

Er zijn drie projecten onder de verzamelnaam DOVE (Diffuse belasting Oppervlaktewater uit de Veehouderij). De DOVE-projecten zijn op drie grondsoorten gestart, hoewel niet allemaal tegelijkertijd. De metingen voor het DOVE-zand project zijn al geruime tijd afgerond en de rapportage is daarvan deels klaar. Het DOVE-veenproject is in 1999 gestart en de laatste metingen zijn in juli 2002 afgerond (van Beek en van den Eertwegh, 2004) Bij het DOVE-klei project zijn de meetopstellingen in de zomer van 2002 gereed gekomen en zullen de metingen snel beginnen. Het doel van alle DOVE-projecten is het kwantificeren van de bijdrage van de melkveehouderij aan de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor door metingen. Voor alle projecten is een uitgebreid meetprogramma opgezet, waarin de uitspoeling van N en P wordt bepaald door het meten van concentraties in bodemvocht, grondwater en oppervlaktewater, grondwaterstanden, mineralisatie en denitrificatie en het bepalen van voorraden in verschillende bodemlagen.

De metingen voor DOVE-klei en DOVE-zand worden beide op 1 bedrijf uitgevoerd, terwijl voor DOVE-veen meerdere bedrijven in een afgesloten polder in beschouwing zijn genomen.

De Marke

De Marke is een proefbedrijf dat ten doel heeft een bedrijfssysteem te ontwikkelen en te demonstreren voor duurzame melkveehouderij (i.e. economisch rendabel en milieukundig acceptabel). Het sluiten van de nutriëntenkringlopen is vanaf het begin een belangrijk onderzoeksobject. (zie onder meer: Hack- ten Broeke en Aarts, 1996, Hack-ten Broeke, 2003) N_{min} in de bodem wordt in ieder geval ieder voorjaar en najaar gemeten. Daarnaast wordt deze parameter in enkele jaren meerdere malen per zomer gemeten. Het RIVM meet jaarlijks de grondwaterkwaliteit. In de periode 1991-1995 is dit tweewekelijks (fluxafhankelijk) door het Staring Centrum gemeten. Metingen aan het oppervlaktewater is bij dit project niet van toepassing. Factoren: bodem, Gt, management (bemesting, beweiding, beregening, rotatie)

Naast het Bedrijfssysteemonderzoek lopen er nog enkele bemestingsproeven (gras en maïs), waarbij gedurende 6 jaren verschillende bemestingsniveaus zijn toegepast en op een aantal velden is na drie jaar een omkering geweest in wel of niet bemesten. Deze proeven zijn door Jaap Schröder (PRI) begeleid en bemonsterd.

Koeien en Kansen:

K&K is voortgekomen uit het idee om de bevindingen van De Marke verder uit te dragen naar de praktijk in de melkveehouderij. De doelstelling is onder meer om te laten zien op welke wijze je aan de milieunormen kan voldoen en van elkaar te leren. (Oenema et al., 2002)

Er worden balansen en nutriëntenkringlopen opgesteld, waarvoor bodemmetingen worden verricht. Grondwaterkwaliteitsmetingen worden jaarlijks door het RIVM uitgevoerd.

Factoren: diversiteit in bodem, regio en bemesting.

Lovinkhoeve

De Lovinkhoeve is een proefbedrijf van PRI op een zavel-bodem. Hier loopt sinds 1995 een bemestingsproef met 3 N-trappen. Op elk van de 7 percelen liggen in 3-voud 3 bemestingsniveaus en ook nog een 0-veldje. In 2002 is de totale rotatie (luz/gras>luz/gras>biet/kool>zomertarwe>aardappelen>maïs>tulpen/peen) afgerond. Jaarlijks zijn hier N-balansen opgesteld, opbrengstmetingen gedaan en bodemmonsters genomen. Helaas wordt het bedrijf

opgeheven en kunnen er na 2002 geen metingen meer worden uitgevoerd. Contactpersoon voor gegevens uit voorgaande jaren is Jaap Schöder (PRI). (Schröder et al., 2003)

Verliesnormen gras

Dit project wordt door PV en Alterra uitgevoerd. Binnen dit project wordt op vier bedrijven: Heino, Cranendonck (zand), Zegveld (veen) en Waiboerhoeve (klei), met een N-overschot tussen 180 en 300 kg/ha/jaar gemeten aan verliezen van fosfaat en nitraat. De N-trappen liggen in 3 herhalingen. Daar lopen 3 P-trappen in 2 herhalingen doorheen. (van Middelkoop et al., 2004) Alterra is vooral geïnteresseerd in P. Er worden drie maal per jaar bodemmonsters genomen van de bovenste 30 cm (in laagjes van 5 cm). N-mineraal staat wel als kolom in database, maar bevat geen getallen. N-totaal is wel gemeten, verder P. Bodemmonsters oktober zijn nog bewaard gebleven en zouden eventueel nog geanalyseerd kunnen worden.

Drie maal per jaar worden er metingen aan grondwater / bodemvocht gedaan.

Scheuren van grasland

Scheuren van grasland is een vierjarig veldexperiment, gericht op de landbouwkundige en milieukundige effecten van graslandvernieuwing op zand- en kleigrond. Het project richt zich niet alleen op de effecten van graslandvernieuwing op de droge stof en stikstofopbrengst, maar ook op de effecten van het scheuren op de stikstof verliezen in de bodem en op de organische stofdynamiek in de bodem.

Gedurende vier jaar wordt op drie locaties een veldproef uitgevoerd. De proefperiode duurt van 2002 tot en met 2004. Voor de proefpercelen zijn de volgende grondsoorten gekozen: een zeelei, een relatief natte zandgrond (beekeerd) en een relatief droge zandgrond (veldpodzol). De proefpercelen liggen respectievelijk op de volgende bedrijven: Praktijkcentrum Nij Bosma Zathe, een praktijkbedrijf in Heino en het praktijkbedrijf in Maarheeze. Na elke snede worden bodemmonsters genomen waaraan N_{min}, DOC, DON, C_{tot}, N_{tot}, potentiële mineralisatie en potentiële denitrificatie worden gemeten.

Projecten bij PPO-bollen

Er zijn verschillende onderzoeken geweest naar stikstofbemesting en stikstofvoorraden in de bodem. Op dit moment zijn er geen lopende onderzoeken, waarbij intensief wordt gemeten aan de bodem, behalve de voorloperbedrijven van Telen met Toekomst. Eind jaren '90 zijn er wel een aantal onderzoeken afgerond. Daar wordt hier een kort overzicht van gegeven. De onderzoeksgegevens bestaan vooral uit regelmatige N_{min}-bepalingen in meerdere lagen, grondanalyse, balansen en weergegevens (diverse jaarverslagen de Noord en de Zuid; Landman, 1998). Verder zijn er gedurende 2 jaar (1996-1998) in-situ mineralisatiemetingen verricht.

Op basis van deze gegevens zou een inschatting gemaakt kunnen worden van de hoeveelheden stikstof die uit het profiel verdwijnen. De N_{min} gehalten vertonen in enkele percelen al midden in de zomer (juli) een sterke daling. Het is op basis van deze gegevens echter niet uit te maken hoeveel stikstof ook naar het grondwater uitspoelt, omdat er geen gegevens zijn over grondwaterkwaliteit en denitrificatie zijn. Er is overigens wel een rapport verschenen (van Aartrijk et al., 1997) over emissies van nutriënten, waarin de uitspoeling van stikstof via drainwater wordt beschreven.

Projecten bij PPO-agv

Bij PPO-agv heeft Wijnand Sukkel de lopende projecten, die zich op nitraat in bodem en water hebben gericht, kort toegelicht. Hij noemde enkele, deels afgesloten, projecten, waar N_{min} in de bodem en mogelijk in drainwater is gemeten: *Bioveem*, *Verbreidingsproject vollegrondsgroente*. De resultaten van deze projecten zijn volgens Wijnand ook al gebruikt voor de voorstudie van Sturen op Nitraat.

Verder noemde hij nog het project *BIOM*, waar op biologische groentebedrijven in N.-H., ZWN, MiddenBr, Limburg, Groningen en Friesland N_{min} in de bodem na de teelt en in november (en drainwater) wordt gemeten. Het betreft biologische bedrijven, waarvan een aantal recent is overgestapt.

project 398 II - IIIA: Metingen van denitrificatie, mineralisatie en nitraatuitspoeling.

In dit project (projectleider Kor Zwart) wordt in tegenstelling tot de titel niet echt gekeken naar uitspoeling. Er wordt gezocht naar een relatie tussen denitrificatie, overschot, grondwaterstand en mineralisatie. Er zal een laboratoriumexperiment worden gedaan, waarbij de denitrificatie wordt gemeten bij verschillende bodemtypes, vochtgehalten, nitraatconcentraties en temperaturen. De metingen hiervoor zijn in oktober 2002 uitgevoerd. Naast deze laboratoriumproef worden er ook veldmetingen gedaan op verschillende bedrijven (bollen, bomen, akkerbouw en vollegrondsgroente). In percelen met verschillende N-overschotten worden enkel keren per jaar bodemonsters genomen, waaraan verschillende analyses worden gedaan (CaCl₂-extracten, potentiële denitrificatie, hot-KCl). Daarnaast worden er iedere 6 weken bodem- en grondwatermonsters genomen, waarin N_{min}, DOC en actuele denitrificatie worden gemeten. Zie ook www.mestenmineralen.nl.

Monitoren van nutriëntenstromen op stroomgebiedniveau (programma 398 III, project 2-3)

Gertie Arts doet onderzoek op het niveau van hydrologische eenheden, waarbij alle compartimenten (bodem, grondwater en oppervlakte water) worden bemeaten. Er wordt een analyse van bron-pad-effect-relaties uitgevoerd. Daarnaast worden effecten van maatregelen op stroomgebiedsniveau gevolgd (evaluatie mestbeleid). Dit project heeft tevens het optimaliseren van monitoringssystemen tot doel. Over meetintensiteit is nog geen besluit genomen. De gebieden die zijn gaan bestuderen zijn Bergambacht/Krimpenerwaard (veen), Schuitembeek (hoog belast zand), Geestmerstroom (laag belast zand) en Flevopolder/ Noordoostpolder (klei). Zie ook www.mestenmineralen.nl

Peilstok in de Akker

Tijdens enkele externe bijeenkomsten (NMI, Monitoring Tailor-made op 4-6 juni 2002) werd het project *Peilstok in de Akker* gepresenteerd, uitgevoerd door Royal Haskoning (G. Fraport). Dit project richt zich op de stuurbaarheid van de grondwaterkwaliteit door de boer zelf. Als de boer zelf metingen doet aan bodemvocht en zo een vinger aan de pols kan houden zal hij meer kunnen doen aan de grondwaterkwaliteit. Omdat het geloof bij boeren in metingen en modelberekeningen door grote instituten drastisch is gedaald, wordt het tijd dat ze het nu zelf gaan doen. Dit zou als positieve bijkomstigheid hebben dat we over een enorme dataset met nitraatconcentraties in het bodemvocht gaan beschikken. Bij verder navraag bleek dat dit project wel mooi geïllustreerd is, maar verder weinig uitgewerkt. Een kritische waarde voor nitraat in bodemvocht is nog absoluut niet bekend. Het onderzoek wordt gefinancierd door de stichting HAN (Heidelberg Appeal Nederland).

Meetnetten Grondwater en Bodemkwaliteit

Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid LMM

(verantwoordelijk persoon: Dico Fraters). Dit meetnet heeft als hoofddoel : beschrijven en zo mogelijk verklaren van de huidige kwaliteit van het recent gevormde grondwater in relatie met milieudruk en beleidsmaatregelen onderzoek doen naar de verandering in de landbouwpraktijk en de kwaliteit van het recent gevormde grondwater.

Het meetnet omvat twee onderdelen. Een evaluerend onderdeel waarin veranderingen worden gemeten als gevolg van de veranderingen in de landbouw, zoals deze in de loop van de tijd hebben plaats gevonden. Het verkennend onderdeel omvat landbouwbedrijven die duidelijk minder nutriënten gebruiken dan gemiddeld. Deze bedrijven zijn veelal deelnemer aan projecten van andere onderzoeksinstellingen.

Binnen dit meetnet worden zowel de bedrijfsvoeringkarakteristieken (welke?) als de waterkwaliteitsgegevens verzameld op bedrijfsniveau (!). Op zand wordt het bovenste grondwater bemonsterd, in kleigebieden wordt gedurende de winter 4 maal het drainwater bemonsterd en

eenmaal het bovenste grondwater In veengebied wordt het grondwater bemonsterd en het slootwater. In het water worden o.a. ammonium, nitraat en DOC gemeten.
Meer info: <http://arch.rivm.nl/milieu/Bodem/Meetnetten/lmm.html>

Er is een aanvullend project binnen LMM op 40 kleibedrijven. Daar werd in de zomer van 2002 putwater bemonsters, komende winter zal er put-, drain- en slootwater worden bemonsterd en volgende zomer nog eens putwater. De lokaties (bedrijven) komen overeen met lokaties van het LMB. Alle metingen worden op bedrijfsniveau uitgevoerd. Enige relatie met gewas kan daardoor niet worden onderzocht.

Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB)

Dit meetnet heeft als doelstellingen:

vaststellen of veranderingen in bodemkwaliteit optreden
beschrijven en zo mogelijk verklaren van de huidige bodemkwaliteit in relatie met milieudruk en beleidsmaatregelen.

Er zijn 10 combinaties van grondgebruik/grondsoort geklassificeerd. Gedurende 5 jaar worden telkens 40 lokaties bemonsterd in twee van de tien combinaties. In totaal zijn er na 5 jaar 200 lokaties bemonsterd. (Wat is een lokatie? Een perceel, een bedrijf of nog groter?) De eerst bemonsteringsronde is gestart in 1993, de tweede in 1999.

Van de toplaag (0-10 cm –mv), een diepere laag (30-50 cm –mv) worden 4 monsters samengesteld uit 320 steken per lokatie (geldt dat ook voor 30-50? Of is dat 16 steken?). Daarnaast worden 4 mengmonsters gemaakt van het grondwater uit 16 putten. Aan de monsters wordt een groot aantal analyses uitgevoerd, waaronder pH, organische stofgehalte, zware metalen en bestrijdingsmiddelen, maar geen Nmin, Ntotaal of enige vorm van mineralisatiecapaciteit. In het bovenste grondwater wordt o.a. nitraat gemeten. Contactpersoon voor dit meetnet, waarschijnlijk Hans Bronswijk.

Meer info: <http://arch.rivm.nl/milieu/Bodem/Meetnetten/lmb.html>

Referenties

- van Aartrijk, J., P. Groenendijk, J.J.T.I. Boesten, O.F. Schoumans & R. Gerritsen, 1997. Emissies van bestrijdingsmiddelen en nutriënten in de bloembollenteelt. Rapport 387. Staring centrum, Wageningen.
- Assinck, F.B.T. en P. de Willigen, 2004. Stikstofstromen op het kernbedrijf Vredepeel; Modelberekeningen met FUSSIM2 en MOTOR. Telen met Toekomst-rapport. Plant Research International, Wageningen (in druk)
- van Beek, C.L. & G.A.P.H. van den Eertwegh, 2004. Veen & Vee; nutriënten- en waterhuishouding in een veenweidepolder. Eindrapportage veenweideproject. Vlietpolder-serie (in druk)
- S.L.G.E. Burgers, H.F.M. ten Berge, J.J. de Gruijter, M.J.D. Hack-ten Broeke, I.E. Hoving, S. Radersma, A. Smit en G.L. Velthof, 2003. *Ontwikkeling van een indicator om te Sturen Op Nitraat; gegevens en regressie-analyse op basis van twee meetseizoenen (2000-2001 en 2001-2002)*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-Rapport 866,
- Hack-ten Broeke M.J.D., 2003. Nitrate leaching from dairy farming on sandy soils. Case studies for experimental farm De Marke. Proefschrift, Wageningen Universiteit.
- Hack-ten Broeke M.J.D., H.F.M. Aarts (red), 1996. Integrale monitoring van stikstofstromen in bodem en gewad. Resultaten van proefbedrijf De Marke. AB-DLO, Wageningen. rapport 57
- Hack-ten Broeke M.J.D., S.L.G.E. Burgers, H.F.M. ten Berge, P.L.A. van Enckevort, J.J. de Gruijter, I.E. Hoving Smit, A., en G.L. Velthof, 2003. *Ontwikkeling van een indicator om te Sturen Op Nitraat; Gegevens en regressie-analyse voor het eerste meetseizoen (2000-2001)*. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 772. Reeks Sturen Op Nitraat 4.

- Landman, A; Bruin, P.N.A.; Groen, N.P.A.; Leeuwen, P.J.; Weijden, J.A. van der; Dam, A.M. van; Schouten, C.A.M.; Vlaming, E.A.C.; Buurman, F.P.M. (1998) Stikstofbemesting en nutriëntenonderzoek bij diverse gewassen. Rapport bloembollenonderzoek 101, Lisse
- van Middelkoop, J.C., C. van der Salm, D.J. denBoer, M. ter Horst, W.J. Chardon, R.F. Bakker, R.L.M. Schils & O.F. Schoumans, 2004. Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland. Veld onderzoek op vier locaties, 1997-2001. Praktijkonderzoek Veehouderijrapport. (in druk)
- Oenema, J., H.F.M. ten Berge, C.J. de Jong, B. Fraters, 2002 Analyse stikstofoverschotten in 1997-2000 en nitraatconcentraties in 1999-2001. Koeien & Kansen Rapport 11. Plant Research International, Wageningen
- Schröder, J.J., J.W. Steenhuizen, A.G. Jansen, B. Fraters en A. Siepel, 2003. Opbrengst, mineralenverlies en bodemvruchtbaarheid van een biologisch akkerbouwbedrijf in relatie tot bemestingsniveaus. Resultaten van een Ecologisch Proefbedrijf Dr H.J. Lovinkhoeve 1996-2002. Plant Research International rapport 69.
- Smit, A., M.J.D. Hack-ten Broeke, H.F.M. ten Berge, S.L.G.E. Burgers, W. Chardon, P.L.A. van Enkevort, J.J. de Gruijter, I.E. Hoving en G.L. Velthof, 2003. Gegevensverzameling Sturen Op Nitraat; Op zoek naar een indicator. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 658. Reeks Sturen Op Nitraat 3.
- Smit, A. en K.B. Zwart, 2004. Stikstofstromen op de kernbedrijven Meterik en Vredepeel; Mineralisatie van bodem en gewasresten. Telen met Toekomst-rapport. Plant Research International, Wageningen (in druk)
- Smit, A., K. Zwart & J. van Kleef, 2004. Stikstofstromen op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik; De grondwaterkwaliteit gemeten. Telen met Toekomst rapport. Plant Research International (in druk)
- de Vos, J.A. en F.B.T. Assinck, 2004. Nitraatuitspoeling Vredepeel 2002-2003. Telen met Toekomst-rapport. Plant Research International, Wageningen. (in druk)

Bijlage 5 Verslag van een workshop met experts

In april 2003 is een aantal experts op het gebied van stikstof-omzettingen en uitspoeling gevraagd de onderzoeksplannen voor dit project in een discussie-bijeenkomst te bespreken. De plannen naar aanleiding van een quickscan van lopende projecten waren in een groeidocument gebundeld en aan 8 experts voorgelegd. De experts waren: Ellis Hoffland (WU), Jaap Schröder (PRI), Leo Boumans (RIVM), Kor Zwart (Alterra), Gerard Velthof (Alterra), Ken Giller (WU), Klaasjan Raat (UvA) en Oene Oenema (Alterra). Aan de experts werd gevraagd of ze in het groeidocument bepaald potentiële indicatoren misten, of misschien overbodig vonden.

Een groot deel van de ondervraagden heeft de moeite genomen al schriftelijk te antwoorden n.a.v. het groeidocument. Met een deel (Ellis Hoffland, Kor Zwart, Gerard Velthof, Jaap Schröder en Leo Boumans) is op 17 april een discussie gevoerd over het project. Ken Giller heeft zijn commentaar mondeling overgebracht tijdens een interview.

In dit verslag zal niet het verloop van de diverse discussies en gesprekken worden weergegeven, maar op een aantal hoofdpunten wordt de mening van de ondervraagden uiteengezet en worden er enkele conclusies getrokken.

Nts, SON en Nmin

De stikstofvormen die uitspoelen zijn voor een deel mineraal N (Nmin), dat rechtstreeks uit (kunst)mest afkomstig is. Verder is er mineraal N, vrijgekomen uit mineralisatie. Hoewel het niet logisch lijkt, valt DON (dissolved organic N of SON (soluble organic nitrogen) hier eigenlijk ook onder. DON is namelijk ook een product van mineralisatie en kan direct uitspoelen of binnen een redelijk korte termijn verder mineraliseren tot een minerale vorm. Om deze reden zou het interessant kunnen zijn om binnen de bestaande datasets, waar veel meetgegevens van zijn (bijv. Stopnit) eens te bekijken om te zien of de combinatie van SON en Nmin (=Nts) een betere relatie oplevert met nitraat in het grondwater dan Nmin alleen.

Kwaliteit van organische stof is belangrijk

De organische stof in de bodem en in de mest is niet één soort verbinding maar is een mengsel van meerdere soorten organische verbindingen. Het is bij het ontwerpen van een indicator belangrijk de kwaliteit van de organische stof in de gaten te houden. Niet alleen de organische stof in de bodem bestaat uit een relatief stabiel deel en een wat beter afbreekbaar deel, maar de mest is ook in meerdere fracties te verdelen. Het is daarom niet voldoende om te bestuderen hoeveel de N-input kwantitatief vermindert als gevolg van het mestbeleid, maar ook of de vorm waarin stikstof wordt toegediend (kwaliteit) verandert. De afbraak zal niet alleen van de C/N ratio, afhangen, maar ook van de kwaliteit van de organische verbindingen (polyfenolen, lignine).

Het belang van de kwaliteit van organische stof werd vooral sterk naar voren gebracht door Ken Giller, die benadrukte niet alleen de kwantiteit, maar zeker ook de kwaliteit van organische toevoegingen te beschouwen.

Ook het tijdstip van toedienen wordt belangrijk geacht. Het tijdstip van toedienen en de kwaliteit van de organische stof bepalen hoeveel stikstof er wanneer in de bodem aanwezig zal zijn. Als dit niet synchroon loopt met de N-opname van het gewas is de kans op uitspoeling groter. Bemesting aan het begin van het groeiseizoen (in het voorjaar) heeft minder kans op uitspoelen dan gewasresten die in het najaar worden ingewerkt.

Verandering in mestbeleid hoeft geen meetbaar gevolg te hebben in de uitspoeling.

De organische stof in de bodem zal langdurig met een afbraaksnelheid van ongeveer 2% voor een achtergrondmineralisatie zorgen, waardoor naar verwachting de uitspoeling na het veranderen of zelfs stopzetten van de bemesting gedurende een aantal jaren niet of slechts weinig zal teruglopen. Toch zijn de ervaringen met zandgronden (de Marke, Vredepeel) dat de veranderingen in bemesting snel meetbaar zijn in het grondwater.

De snelheid waarmee de concentraties in het grondwater veranderen hangt niet alleen af van de hoeveelheid organische stof in de bodem, maar ook van de verhouding tussen de mineralisatie uit de bodem en de aangevoerde hoeveelheid N in mest en gewasresten. Als de jaarlijkse aanvoer van N groot is t.o.v. de N-mineralisatie uit bodem-organische-stof, zal er na vermindering van de N-aanvoer sneller een meetbaar effect optreden in het nitraatgehalte van het grondwater dan wanneer de aanvoer van N slechts een klein deel is van wat er jaarlijks uit bodemorganische stof mineraliseert. Bij de bollen, maar ook in graslanden, is de achtergrondmineralisatie klein ten opzichte van de turn-over van het gras en de toevoegingen in de vorm van mest. Hier zijn veranderingen in management waarschijnlijk sneller meetbaar.

Snelle reactoren zijn moeilijk te vangen, stabiele reactoren veranderen te langzaam

Dit punt sluit nauw aan bij het vorige. Op het moment dat de aanvoer van N of het N-overschot de uitspoeling grotendeels bepaalt, zullen bodemparameters zoals N_{min} en SON (samen N_{ts}: total soluble N) een belangrijk aandeel in een gecombineerde indicator hebben. Deze parameters zijn echter ook zeer variabel in de tijd, waardoor het moment van bemonstering nauw luistert en de kans op “missen” van het juiste moment vrij groot is. Te denken valt dan aan een indicator die berekend wordt als een voortschrijdend langjarig gemiddelde. Als het mobiele N voornamelijk afkomstig is uit achtergrond-mineralisatie, aangevuld met mineralisatie uit de stabielere verbindingen in mest en gewasresten, dan zal de hoeveelheid N_{ts} op een bepaald moment niet de optimale indicator zijn. Er kan immers gedurende het uitspoelingsseizoen ook nog mineralisatie optreden. Deze zouden we dan moeten voorspellen. Volgens Ellis Hoffland is de relatie tussen mineralisatie en temperatuur niet goed bekend en onvoldoende in modellen opgenomen (zie proefschrift Yang, nog doen). Zij pleit voor een verbetering van de modellen. Volgens Kor Zwart valt dit wel mee en kan er in het traject tussen 20°C (incubatie temperatuur) en 5°C een goede schatting van de mineralisatie worden gemaakt. Modellen zouden een aanvulling kunnen geven op meting van N-fracties, vooral in situaties waar de achtergrondmineralisatie van belang is. Jaap Schroder merkte op dat modelcalculaties en een biotoets wel een verschil van 30-40 kg N ha verschil lieten zien bij percelen met een verschillende bemestings-geschiedenis op de Marke, die niet te vinden waren in analyse van bodem N-fracties.

Op het totale bereik van bodemtype en grondgebruik zullen goede relaties tussen bodemkenmerken en mobiel N bestaan, maar de verandering door mestbeleid is te klein om in het totaal terug te vinden.

De stabiele bodemparameters, zoals potentiële mineralisatie (bepaald door incubatie, Hot-KCl-extractie, modelberekeningen of zelfs een biotoets) of organisch stof gehalte, vertonen vaak een mooi verband met potentieel uitspoelbaar N. De resultaten van de metingen, die in het kader van dit project zijn uitgevoerd, laten ook mooie verbanden zien tussen extraheerbaar N (SON) en potentiële mineralisatie zien als het gehele bereik van bodemtypes wordt beschouwd. Voor de afzonderlijke bedrijven zijn de verbanden niet of nauwelijks herkenbaar en verschillen tussen percelen met een verschillende behandeling zijn niet aantoonbaar. Hieruit kunnen we concluderen dat de goede relaties tussen de kwaliteit (en kwantiteit) van de bodemorganische stof en mobiele vormen van N goed kunnen zijn op een grotere schaal, maar dat de verschuivingen, die zouden kunnen optreden door een verandering in bemesting te klein zijn om op deze bedrijfsschaal terug te vinden. Daarvoor zijn ze te ongevoelig.

In de discussie werd opgemerkt dat nitraatuitspoeling niet hetzelfde is als nitraatconcentratie in het grondwater, en dat we nitraatuitspoeling op geen enkele manier meten.

Je kunt geen indicator voor uitspoeling toetsen zonder op z'n minst de uitspoeling zelf te meten.

De vraagstelling en opdracht van dit project geeft duidelijk aan dat het niet de bedoeling is om de relatie tussen potentieel uitspoelbaar N in de bodem kwantitatief te relateren aan de werkelijke stikstofconcentraties in grondwater en oppervlaktewater. Het is daarmee de bedoeling dat er in de bovengrond gezocht wordt naar een veranderlijke bodemparameter, die een indicator is voor uitspoeling. Nadat er binnen het projectteam al behoorlijk veel gediscussieerd is over deze

“beperking”¹, kwam dit punt tijdens de discussie met de experts weer aan de orde. Eigenlijk was iedereen er van overtuigd dat je de indicator nooit zal kunnen onderbouwen en toetsen als je niet weet hoe groot de uitspoeling werkelijk is. Gezien de lage neerslaghoeveelheden van dit voorjaar is het goed mogelijk om alsnog grondwatermonsters te nemen op de percelen, die eerder bemonsterd zijn voor bodemanalyses.

→ Deze bemonstering is op de Marke uitgevoerd. Op andere bedrijven, die in de pilot-study zijn bemonsterd zijn grondwater- of drainwatergegevens bij andere projecten opgevraagd.

Een enkele indicator bestaat niet, het zal een combinatie moeten worden

In verband met de complexiteit van N-mineralisatie en de verschillen in mobiliteit tussen de N-fracties is het duidelijk dat er geen enkelvoudige indicator bestaat. Het zal een combinatie worden van een stabiele parameter, zoals bodemtype, organisch stofgehalte of potentiële mineralisatie, met een uitspoelbare fractie (N_{min}, SON, N_{ts}), en misschien wel gecombineerd met een werkelijk perceeloverschot (of GVE).

Beslisbomen

In het pilotexperiment is een aantal bodemtypes en soorten landgebruik geanalyseerd. Een verandering in bemesting heeft niet overal hetzelfde effect. Dit heeft te maken met de uitgangssituatie, het organisch stofgehalte en achtergrondmineralisatie ten opzichte van de aanvoer, de uitspoelings-gevoeligheid van de bodem en het landgebruik. Dit zal betekenen dat zelfs, als voor alle situaties de te meten parameters gelijk zijn, het gewicht van de resultaten kan verschillen en er voor verschillende situaties verschillende “modellen” zullen komen. Dit onderscheid tussen verschillende situaties zou dan goed kunnen worden weergegeven door middel van een beslisboom.

Nieuwe ideeën

Tijdens de discussie kwam er ook nog enkele ideeën naar voren die niet eerder uitgezocht waren.

- DOP: de vraag is in hoeverre aangesloten kan worden bij de P-indicator. Zegt bijvoorbeeld de hoeveelheid DOP (dissolved organic P) ook iets over de DON-uitspoeling? Het idee is een beetje in de lucht blijven hangen, maar later heeft Ellis Hoffland per mail nog gereageerd. Bij navraag bleek dit niet geschikt te zijn, want: “DOP bestaan voor het overgrote deel uit inositolfosfaat en een glucosefosfaat. Die bevatten geen N. DOP zijn dus andere verbindingen dan DON.”
- Delta N15: dit idee werd al voor de discussie door Oene aangedragen. Delta 15N zou een indicatie kunnen zijn voor een verschuiving in bacteriële activiteit, dus voor een verandering in afbraak, mogelijk gekoppeld aan een verandering in kwaliteit van organische stof. Navraag bij Jan-Willem van Groenigen levert een wat ander beeld. Hij vindt de methode niet geschikt voor deze toepassing, omdat de verhouding tussen ¹⁴N en ¹⁵N wordt beïnvloed door alle bacteriële omzettingen die in de bodem plaatsvinden. De verschillende bacteriën die de verschillende omzettingen “uitvoeren” hebben allemaal in verschillende mate een voorkeur voor ¹⁴N boven ¹⁵N. Als je dan een ¹⁵N meting in nitraat uitvoert in verschillende percelen zou je misschien wel verschillen kunnen meten, maar je hebt geen idee waar het door komt (een soort vergelijking met 6 onbekenden). Er zijn wel studies bekend waar succesvol verschillende situaties werden herkend in natuurlijk ¹⁵N studies, maar slechts wanneer er 1 factor verschilt. Als monitoringsinstrument is deze methodiek volgens Jan-Willem niet zo geschikt.
- NIRS: Near Infra Red Spectrometrie is een droge en snelle analysemethode waarmee organische verbindingen kunnen worden onderscheiden. Het kan een goede correlatie

¹ Tijdens diverse discussies met de programmaleider is enkele keren benadrukt dat de vraagstelling en opdracht van dit project duidelijk aangeven dat het niet de bedoeling is om de relatie tussen potentieel uitspoelbaar N in de bodem kwantitatief te relateren aan de werkelijke stikstofconcentraties in grondwater en oppervlaktewater. Het is dus de bedoeling dat er in de bovengrond gezocht wordt naar een veranderlijke bodemparameter, die eventuele uitspoeling indiceert

opleveren met bijvoorbeeld %C of mineraliseerbaar N. Hiervoor moet eerst een model worden ontwikkeld en dat kan per bodemtype behoorlijk verschillen. Er zouden voor verschillende bodemtypes dus aparte modellen moeten komen, die als ze er eenmaal zijn, snel toegepast kunnen worden. Echter, ook hier is niet duidelijk of de gemeten parameters wel gevoelig zijn voor een verandering in mestbeleid. Je meet immers de verandering in organische stof samenstelling en die is behoorlijk divers. Dat betekent dat je een redelijke verandering nodig hebt om het te kunnen meten.

Afsluitende opmerking

Een belangrijke algemene opmerking van de experts was: we zijn (allemaal) op zoek naar de beste indicator voor mobiel N, maar het zou heel goed kunnen dat we niks nieuws vinden. Misschien zijn indicatoren als N_{min} of N-overschot daadwerkelijk de beste die er zijn. Ook dat is een mogelijk resultaat van dit project. Mede daarom is de relatie met de andere lopende nitraatprojecten zo belangrijk.